

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
13. Dezember 2001 (13.12.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 01/95461 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H02K 3/12, SYSTEMS GMBH & CO. OHG [DE/DE]; Justus-von-Liebig-Strasse 5, 86899 Landsberg (DE).  
3/28, 3/50

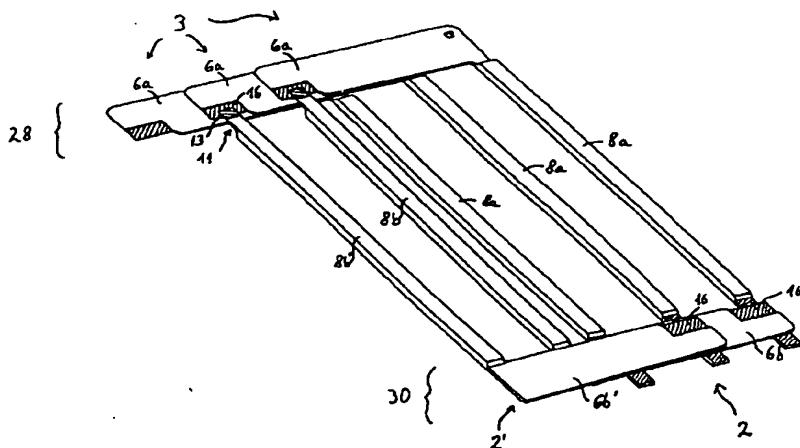
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/06272 (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HOLZHEU, Georg [DE/DE]; Jugendheimweg 13, 89956 Schongau (DE).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 1. Juni 2001 (01.06.2001) MASBERG, Ulrich [DE/DE]; Nonnenweg 116, 51503 Rösrath (DE). MENHART, Michael [DE/DE]; Hauptstrasse 44, 86859 Holzhausen-Igling (DE). GRÜNDL, Andreas [DE/DE]; Haseneystrasse 20, 81377 München (DE).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch HOFFMANN, Bernhard [DE/DE]; Jakob-Tresch-Strasse 9, 82319 Starnberg (DE). RASCH, Reinhard [DE/DE]; Breitbrunnerstrasse 9, 82229 Hechendorf (DE).  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch  
(30) Angaben zur Priorität: 100 28 380.2 8. Juni 2000 (08.06.2000) DE (74) Anwälte: LIPPICH, Wolfgang usw.; Samson & Partner, Widenmayerstrasse 5, 80538 München (DE).  
101 11 509.1 9. März 2001 (09.03.2001) DE  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): CONTINENTAL ISAD ELECTRONIC (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: WINDING WITH MOULDED PARTS, METHOD AND SET OF MOULDED PARTS FOR ELECTRICAL MACHINES

(54) Bezeichnung: WICKLUNG MIT FORMTEILEN, VERFAHREN UND FORMTEILSATZ FÜR ELEKTRISCHE MASCHINEN

WO 01/95461 A1



(57) Abstract: The invention relates to a winding for a stator or rotor of an electrical machine comprising an iron body (32) with slots (34). Said winding is at least partially made up of L-shaped moulded parts (1,2,3). Each limb of an L-shaped moulded part forms a slot bar (8a, 8b) which lies in a slot, the other limb forming a connecting conductor (6a, 6b) situated at one end of the stator or rotor. The invention also relates to a winding comprising several overlapping coils (50, 52, 52, 50, 52). The connecting conductors (6) of overlapping coils (50, 52, 52, 50, 52) are interlaced and are therefore in layers. The invention also relates to a winding in which the connecting conductors (6) are configured to be flatter than the slot bars (8) and which is configured as a chorded multiple phase winding with two slots per pole and phase. Finally, the invention also relates to a method and set of moulded parts for producing a winding for an electrical machine.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

— *mit internationalem Recherchenbericht*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Wicklung für einen Ständer oder Läufer einer elektrischen Maschine mit einem Eisenkörper (32) mit Nuten (34), welche zumindest teilweise aus L-förmigen Formteilen (1,2,3) aufgebaut ist. Hierbei bildet jeweils ein Schenkel eines L-förmigen Formteils einen in einer Nut liegenden Nutstab (8a, 8b) und der andere Schenkel einen an einer Stirnseite des Ständers bzw. Läufers liegenden Verbindungsleiter (6a, 6b). Außerdem betrifft die Erfindung eine Wicklung mit mehreren überlappenden Spulen (50, 52, 50, 52, 50, 52), wobei die Verbindungsleiter (6) von überlappenden Spulen (50, 52, 52, 50, 52) verschränkt und somit in Lagen angeordnet sind. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Wicklung, bei der die Verbindungsleiter (6) flacher als die Nutstäbe (8) ausgebildet ist, und die als eine gesehnte Mehrphasenwicklung mit 2 Nuten pro Pol und Strang ausgeführt ist. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren und einen Formteilsatz zur Herstellung einer Wicklung für eine elektrische Maschine.

## WICKLUNG MIT FORMTEILEN, VERFAHREN UND FORMTEILSATZ FÜR ELEKTRISCHE MACHINEN

5 Die Erfindung betrifft Wicklungen, und insbesondere Wicklungen für eine elektrische Maschine mit einem Ständer und/oder Läufer mit Nuten, sowie ein Verfahren und einen Formteilsatz zur Herstellung solcher Wicklungen. Bei einer der Wicklungen handelt es sich um eine sogenannte Mehrlagenwicklung.

10 Die Ständer von elektrischen Maschinen (z.B. Asynchron- oder Synchronmaschinen in Rotations- oder Linearbauart, wobei mit dem Begriff "elektrische Maschinen" sowohl Motoren als auch Generatoren gemeint sind) sind im allgemeinen mit einer Wicklung ausgestattet. Der durch diese fließende Strom erzeugt ein wanderndes magnetisches Feld, dessen Wirkung über den Luftspalt zwischen Ständer und Läufer hinweg die Bewegung des Läufers hervorruft. Bei manchen Bauformen sind auch die Läufer mit einer Wicklung ausgerüstet. Die Wicklung ist i.a. in den Nuten eines Ständer- bzw. Läuferkörpers aufgenommen, die bei einer Radialfeldmaschine in der Regel parallel oder in einem kleinen Winkel zur Drehachse verlaufen.

20 Bei einer Mehrphasen-Wechselstrommaschine hat die Wicklung i.a. eine der Anzahl der Phasen entsprechende Anzahl von Strängen, die zumeist jeweils mehrere Spulen mit einer oder mehreren Windungen umfassen. Jede Spule liegt in der Regel mit ihren beiden sog. "Spulenseiten" in den Nuten, während die sog. Wickelköpfe die in den Nuten verlaufenden Wicklungsschnitte an den Stirnseiten des Ständerkörpers miteinander verbinden. Die Spulen oder Reihenschaltungen mehrerer Spulen eines Stranges sind i.a. an einem Ende mit einer Stromzuführung verbunden, am anderen Ende sind die Stränge z.B. miteinander am sog. Sternpunkt verbunden. Alternativ können die Stränge auch im Dreieck geschaltet sein.

30 Da sich zur Erzeugung eines Magnetfeldes mit angenähert sinusförmigem Feldverlauf die Spulenseiten verschiedener Stränge in aufeinanderfolgenden Nuten oder Nutgruppen abwechseln, sind die Spulen verschiedener Stränge i.a.

überlappend angeordnet, so daß zwischen den beiden Spulenseiten einer Spule jeweils Spulenseiten von Spulen anderer Stränge zu liegen kommen. Die Wickelköpfe der überlappenden Spulen müssen sich daher an den Stirnseiten des Ständer- bzw. Läuferkörpers ausweichen. Hierfür sind verschiedene Möglichkeiten der 5 Wickelkopfanordnung bekannt. Bei der sog. Zwei- bzw. Drei-Etagen-Wicklung liegen die Wickelköpfe überlappender Spulen z.B. in verschiedenen, in der Nutlängsrichtung übereinanderliegenden Etagen. Bei der Korbwicklung verbinden sämtliche Wickelköpfe eine Etage mit einer anderen, so daß der Eindruck eines Korbrandes entsteht. Diese Wickelkopfanordnungen sind z.B. in "Fachkunde 10 Elektrotechnik", Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co., 22. Auflage 1999, auf S. 331 dargestellt. Derartige Wickelköpfe sind relativ ausladend und nehmen fast die gesamte Stirnseite des Ständerkörpers ein.

Bei gewickelten Drahtspulen ragen die Wickelköpfe außerdem wegen des Zwangs zur Einhaltung von bestimmten Mindestbiegeradien relativ weit aus den 15 Nuten heraus, was die Erzielung einer kompakten Wickelkopfanordnung mit Drahtwicklungen erschwert. Mit einer Drahtwicklung erreicht man zudem meist nur einen relativ geringen Nut-Füllfaktor von ca. 40%, da der Draht i.a. einen kreisrunden Querschnitt aufweist, während die Nuten meist geradflankig sind. Das Bewickeln eines Ständer- oder Läuferkörpers mit Drahtspulen ist relativ 20 aufwendig und schwer automatisierbar. Aus diesen Gründen wurde bereits frühzeitig (z.B. in der DE-AS-10 06 506) vorgeschlagen, die Wicklung elektrischer Maschinen nicht aus Drahtgebilden aufzubauen, sondern aus vorgefertigten Formteilen mit i.a. rechteckigem Querschnitt. Diese werden in der Regel einzeln 25 in die Nuten eines Ständerkörpers eingesetzt und nach dem Einsetzen an den Stirnseiten elektrisch miteinander zu Spulen verbunden.

Unter "Nutstäben" versteht man diejenigen Wicklungsabschnitte, die in den Nuten verlaufen und die Spulenseiten bilden, unter "Verbindungsleitern" diejenigen Abschnitte, die an den Stirnseiten des Ständerkörpers verlaufen und die Wickelköpfe bilden.

30 Durch die Verwendung von Formteilen mit geeignetem Querschnitt läßt sich der Füllfaktor der Nuten erhöhen. Sofern die Formteile am Übergang zwi-

schen Nutstab und Verbindungsleiter abgewinkelt vorgefertigt sind, entfällt das Problem der Mindestbiegeradien, so daß im Prinzip kompakte Wickelkopfanordnungen erreicht werden können. Bei den im Stand der Technik bekannten Formteilwicklungen mit überlappenden Spulen werden in der Regel viele verschiedene, 5 zudem oft kompliziert geformte Formteile benötigt, um das Ausweichen der Wickelköpfe überlappender Spulen zu erreichen.

Die DE 197 36 645 A1 schlägt beispielsweise vor, bei einer elektrischen Maschine die Wicklung aus C-förmigen Formteilen aufzubauen. Zur Bildung einer Windung einer Spule werden jeweils zwei C-förmige Formteile derart in entsprechende Nuten eingesetzt, daß die offenen Seiten einander zugewandt sind, und die Schenkel der Formteile an einer Stirnseite miteinander verbunden werden. Um eine möglichst kompakte Wickelkopfanordnung zu erzielen, sind die Schenkel, welche die Verbindungsleiter bilden, flacher ausgebildet als die in den Nuten liegenden Abschnitte der Formteile (die Nutstäbe). Die Wickelköpfe überlappender 15 Spulen weichen sich dadurch aus, daß Verbindungsleiter gegenüber den mit diesen verbundenen Nutstäben in Richtung der Nuttiefe versetzt sind und so die Verbindungsleiter einer Spule auf einer bestimmten Höhe der Nuttiefe gebündelt werden. Diese Abkröpfung wird durch ein in Richtung der Nuttiefe verlaufendes Verbindungsstück zwischen Nutstab und Verbindungsleiter erreicht. Da 20 die Nutstäbe verschieden weit abgekröpft werden müssen, werden viele verschiedene Formteile benötigt. Die der Abkröpfung dienenden Verbindungsstücke an den Stirnseiten benötigen zusätzlichen Raum. Die Druckschrift schlägt weiterhin vor, die C-förmigen Formteile aus Blechstanzteilen herzustellen, die derart gefaltet werden, daß im Bereich des Nutstabs so viele Blechlagen 25 übereinanderliegen, daß das gewünschte Verhältnis der Nutstab-Dicke zur Verbindungsleiter-Dicke erreicht wird.

Die DE 44 11 749 C2 betrifft eine Ständerwicklung aus U-förmigen Formteilen, welche nicht an den Stirnseiten, sondern im Nutbereich miteinander verschweißt werden. Die gesamte Wicklung wird zunächst ohne Ständerkörper erstellt. Dieser wird erst danach um die fertige Wicklung herum aufgebaut, indem einzelne Segmente aus weichmagnetischem Material in die Wicklung eingesetzt

werden. Auch bei dieser Wicklung sind die Verbindungsleiter flacher als die Nutstäbe ausgebildet, um das Ausweichen der verschiedenen Stränge an den Stirnseiten zu ermöglichen. Da bei der hier gezeigten dreiphasigen Wellenwicklung mit einer Nut pro Pol und Strang jedoch maximal zwei Stränge parallel geführt werden, ist das Ausweichen einfach dadurch realisierbar, daß die Verbindungsleiter abwechselnd in einer - in Richtung der Nuttiefe - oberen oder unteren von zwei Verbindungsleiter-Schichten liegen. Die Bildung einer wendelförmigen Spule ist bei dieser Konstruktion nicht vorgesehen, da mit den gezeigten Formteilen kein Wechsel von einer Wicklungslage in die andere möglich ist. Mit "Wicklungslage" sind alle Nutstäbe einer Wicklung gemeint, die den gleichen Abstand zum Nutboden aufweisen.

Die DE 43 21 236 C1 offenbart eine Wicklung aus S-förmigen Formteilen, die jeweils aus einem Nutstab und zwei Verbindungsleiter-Hälften bestehen, die an den beiden Enden des Nutstabs zu verschiedenen Seiten abgewinkelt sind. Die Verbindungsleiter sind genauso dick wie die Nutstäbe und verlaufen schräg in Richtung der Nutbreite und der Nutlängsrichtung, wobei alle Verbindungsleiter-Hälften einer Wicklungslage nebeneinander, also im gleichen Abstand zum Nutboden, Platz finden. Bei vielen überlappenden Strängen ragen die Verbindungsleiter-Hälften der Formteile daher relativ weit aus den Nuten hervor. Die Formteile werden vom Nutkopf aus in die Nuten eines Ständerkörpers eingesetzt und daraufhin die jeweils übereinanderliegenden Enden von zu verschiedenen Wicklungslagen gehörenden Verbindungsleiter-Hälften miteinander verbunden. Auf diese Weise wird eine Wellenwicklung mit mehreren Strängen erzeugt, wobei jeder Strang bei jedem Wickelkopfdurchgang die Wicklungslage wechselt.

Diese Wicklung wird in der DE 196 32 390 A1 dahingehend unter Verwendung relativ aufwendiger Formteile weiterentwickelt, daß die Verbindungsleiter-Hälften jeweils um eine halbe Nutstabdicke in Richtung der Nuttiefe versetzt an den Enden des Nutstabs angesetzt sind. Daher wird ein Strang beim Durchlaufen der Verbindungsstelle zwischen zwei Verbindungsleiter-Hälften zwar immer noch um eine Nutstabdicke versetzt, dies wird aber durch die Versetzung der Verbindungsleiter gegenüber den Nutstäben kompensiert. Auch hier ist eine

Wellenwicklung gezeigt. Die Formteile weisen eine komplizierte Form auf und sind daher in der Herstellung kostspielig.

Die Erfindung beschreibt verschiedene Aspekte von Wicklungen für eine elektrische Maschine mit einem Ständer und/oder Läufer mit Nuten:

5        Gemäß einem ersten Aspekt (Anspruch 1) umfaßt die Wicklung mehrere überlappende Spulen mit wenigstens einer vollständigen Windung, die an den Stirnseiten des Ständers bzw. Läufers liegende Verbindungsleiter aufweisen, wobei die Verbindungsleiter von überlappenden Spulen verschränkt und somit in Lagen angeordnet sind.

10      Gemäß einem zweiten Aspekt (Anspruch 2) ist die Wicklung zumindest teilweise aus L-förmigen Formteilen aufgebaut. Der eine Schenkel eines solchen L-förmigen Formteils bildet jeweils einen in einer Nut liegenden Nutstab und der andere Schenkel einen an einer Stirnseite des Ständers bzw. Läufers liegenden Verbindungsleiter.

15      Gemäß einem dritten Aspekt (Anspruch 3) umfaßt die Wicklung mehrere Spulen, die aus in den Nuten liegenden Nutstäben und aus an den Stirnseiten des Ständers bzw. Läufers liegenden Verbindungsleitern aufgebaut sind, wobei die Verbindungsleiter flacher als die Nutstäbe ausgebildet sind. Die Wicklung ist als eine gesehnte Mehrphasenwicklung mit zwei Nuten pro Pol und Strang ausgeführt.

20      Gemäß einem vierten Aspekt (Anspruch 4) umfaßt die Wicklung mehrere Spulen, die aus in den Nuten liegenden Nutstäben und aus an der Stirnseite des Ständers bzw. Läufers liegenden Verbindungsleitern aufgebaut sind. Mindestens zwei Spulen sind jeweils in Reihe geschaltet, wobei der Strom eine der Spulen in 25 Richtung Nutkopf und die andere Spule in Richtung Nutboden durchfließt.

25      Gemäß einem weiteren Aspekt ist die Erfindung auf ein Verfahren zur Herstellung einer derartigen Wicklung gerichtet. Hierbei werden die folgende Schritte mehrmals durchlaufen: (a) Einsetzen von Formteilen in die Nuten des Ständers oder Läufers, bis eine ganze oder ein Teil einer Wicklungslage eingesetzt ist, und (b) Verbinden der in Schritt (a) eingesetzten Formteile mit Stromschienen 30 oder mit in einem vorherigen Durchlauf eingesetzten Formteilen.

Gemäß einem noch weiteren Aspekt ist die Erfindung auf einen Formteilsatz zur Herstellung einer Wicklung für eine elektrische Maschine gerichtet. Der Formteilsatz umfaßt einen Typen eines L-förmigen Formteils oder zwei Typen von L-förmigen Formteilen, deren Verbindungsleiterschenkel flacher als die Nutstabschenkel ausgebildet sind. Bevorzugt umfaßt der Formteilsatz zwei Typen von L-förmigen Formteilen, von denen ein Typ dazu ausgebildet ist, eine Verbindung in ein und derselben Wicklungslage zu bilden, während der andere dazu ausgebildet ist, eine Überführung von einer Wicklungslage in die nächste zu bilden.

Schließlich ist die Erfindung auch auf eine Wicklung für eine elektrische Maschine gerichtet, wobei die Wicklung aus nur einem oder zwei Formteiltypen aufgebaut ist und die Wicklung ggf. zusätzlich ein oder zwei weitere Formteiltypen zum Verschalten der Wicklung aufweist.

Die Erfindung wird nun anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen und der beigefügten beispielhaften Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1a eine perspektivische Ansicht eines ersten Typs eines L-förmigen Formteils;
- Fig. 1b Schnitte entlang der Linien A-A und B-B in Fig. 1;
- Fig. 2 eine perspektivische Ansicht eines zweiten Typs eines L-förmigen Formteils;
- Fig. 3 eine perspektivische Ansicht eines weiteren Typs eines L-förmigen Formteils;
- Fig. 4 eine perspektivische Ansicht eines noch weiteren, U-förmigen Formteil-Typs;
- Fig. 5a-c perspektivische Ansichten von auf verschiedene Weise zusammengesetzten L-förmigen Formteilen;
- Fig. 6 eine perspektivische Ansicht einer Anordnung mehrerer L-förmiger Formteile;
- Fig. 7 die Ansicht der Fig. 6, mit einem weiteren L-förmigen Formteil;

Fig. 8 die Ansicht der Fig. 7, mit einem noch weiteren L-förmigen Formteil;

Fig. 9 eine perspektivische Ansicht eines Ständer- oder Läuferauschnitts einer elektrischen Maschine mit Nuten, in die L-förmige Formteile eingesetzt sind;

Fig. 10a-c schematische Draufsichten auf die Nuten des Ständer- oder Läuferkörpers zu verschiedenen Zeitpunkten während des Herstellens der Wicklung;

Fig. 11 eine schematische Draufsicht auf die Nuten eines Ständer- oder Läuferkörpers mit eingesetzten U-Formteilen;

Fig. 12 eine schematische Ansicht der Stirnseite eines bewickelten Ständerkörpers;

Fig. 13 ein Wickelschema einer Dreiphasenwicklung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel;

Fig. 14 ein Wickelschema einer Dreiphasenwicklung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel;

Fig. 15 eine perspektivische Ansicht einer ersten Ausführungsform eines Stromschienepakets;

Fig. 16 eine perspektivische Ansicht der Stromschiene für den Sternpunkt aus Fig. 15;

Fig. 17 eine perspektivische Ansicht einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Stromschienepakets;

Fig. 18 eine schematische Querschnittsdarstellung einer Verbindungsstelle einer Stromschiene;

Fig. 19a eine perspektivische Ansicht einer weiteren Ausführungsform eines Stromschienepakets;

Fig. 19b eine schematisierte Draufsicht auf eine Stromschiene

Fig. 20 eine perspektivische Ansicht eines Abschnitts eines vollständig mit Wicklung und Stromschiene paket bestückten Ständers.

In den Figuren sind funktionsgleiche oder -ähnliche Teile zum Teil mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

Zur Vereinfachung erfolgt die folgende Erläuterung der bevorzugten Ausführungsformen anhand von Ständerwicklungen; gleichermaßen gilt das

5 Gesagte aber auch für entsprechende Läuferwicklungen. Beispielsweise zeigen die Fig. 9-11 gleichermaßen Ansichten eines Ständers (bei Fig. 9 einer Innenläufermaschine) wie auch eines Läufers (bei Fig. 9 einer Außenläufermaschine).

Fig. 1 zeigt einen ersten Formteil-Typ. Bevor diese Figur näher erläutert  
10 wird, folgen zunächst einige Anmerkungen zu den bevorzugten Ausführungsformen.

Die bevorzugten Ausführungsformen beziehen sich auf Wicklungen für einen Ständer einer Radialfeldmaschine in Innenläuferbauart. Im folgenden wird daher die Nutlängsrichtung als Axialrichtung und die Richtung der Nuttiefe als Radialrichtung bezeichnet. Die beschriebenen Wicklungen sind aber auch für Außenläufer- und Linearmaschinen geeignet; ebenso können sie als Läuferwicklungen verwendet werden. Auch eine Axialfeldmaschine kann mit einer entsprechenden Wicklung bestückt werden, sofern die auf unterschiedlichen Stirnseiten liegenden Verbindungsleiter an die jeweilige Zylindermantelform der Stirnseite angepaßt sind.  
20

Der in den Figuren gezeigte Ständer umfaßt zur Führung des magnetischen Flusses einen Ständerkörper in Form eines Blechpaketes, das zur Aufnahme der Nutstäbe der Wicklung genutzt ist. Der nicht genutzte Teil bildet den sog. Rücken. Unter "Stirnseiten" werden jeweils die Seiten des Ständerkörpers verstanden, an welchen die Nuten quer angeschnitten sind. Bei den gezeigten Radialfeldmaschinen sind dies die axialen Stirnflächen des Ständerkörpers.

Mit "Stromschienen" werden die Stromleiter bezeichnet, über die die  
Wicklung mit der Stromversorgung verbunden ist. Bei den beschriebenen  
30 Mehrphasenwicklungen wird in der Regel eine der Anzahl der Phasen entsprechende Anzahl von Stromschienen für die Stromzuführung und - bei einer

Sternschaltung - eine Stromschiene für den Sternpunkt, den Verbindungs-  
punkt der Phasenstränge der Wicklung, verwendet. Bei einer Dreieckschal-  
tung der Stränge entfällt die Stromschiene für den Sternpunkt. Werden sämt-  
liche Stromschienen nebeneinander geführt, bilden sie zusammen ein Strom-  
schienenspaket.

5 Die nachstehend einzeln erläuterten Aspekte der beschriebenen Aus-  
führungsformen sind in der Zeichnung meist in Kombination miteinander dar-  
gestellt, jeder Aspekt kann aber auch einzeln in einer Wicklung realisiert wer-  
den.

10 Ein Aspekt der beschriebenen Ausführungsformen besteht darin, daß  
die Wicklung zumindest teilweise aus L-förmigen Formteilen (L-Formteilen)  
aufgebaut ist, wobei jeweils ein Schenkel des L-Formteils einen Nutstab und  
der andere Schenkel einen senkrecht dazu, im wesentlichen in Sehnenrich-  
tung verlaufenden Verbindungsleiter bildet. Durch Verbinden des freien Endes  
15 des Nutstabs eines Formteils mit dem freien Ende des Verbindungsleiters ei-  
nes anderen Formteils entsteht eine zusammenhängende Wicklung, bei den  
bevorzugten Ausführungsformen eine aus wendelartigen Spulen aufgebaute  
Wicklung. Hierbei bilden zwei miteinander verbundene L-Formteile jeweils eine  
Windung einer Spule.

20 Die Nutstäbe weisen zwecks Erzielung eines möglichst hohen Füllfak-  
tors einen an den Nutquerschnitt angepaßten Querschnitt auf, also z.B. bei  
rechteckförmigen Nuten einen rechteckigen Querschnitt, wobei die Breite im  
wesentlichen der Nutbreite entspricht. In eine Nut werden dann mehrere Nut-  
stäbe übereinander eingesetzt. Die Verbindungsleiter haben beispielsweise  
25 ebenfalls einen rechteckigen Querschnitt, sind aber vorteilhaft flacher als die  
Nutstäbe, damit z.B. die zu überlappenden Spulen gehörenden Verbindungs-  
leiter radial übereinander geschichtet aneinander vorbei geführt werden kön-  
nen.

30 Die Verbindung zwischen dem freien Ende eines Nutstabs  
(Nutstabende) und dem freien Ende eines Verbindungsleiters wird vorzugswei-  
se dadurch hergestellt, daß eine abgeflachte Lasche am Nutstabende auf ei-

nen Verbindungsreich am Verbindungsleiterende aufgesetzt und mit diesem laserverschweißt wird. Vorteilhaft ist der Verbindungsreich so flach ausgebildet, daß die Lasche und der Verbindungsreich zusammen nicht dicker als der Verbindungsleiter im übrigen Bereich sind.

5 In anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen werden die Nutstäbe und Verbindungsleiter verschiedener Formteile nicht durch Laschen verbunden, sondern durch einen anders geformten Fortsatz des Nutstabs, der an entsprechender Stelle angesetzt oder in eine entsprechende Ausnehmung im Verbindungsleiter eingesetzt wird. Die Formteile werden an den Verbindungs-  
10 stellen z.B. verschweißt oder verlötet, oder durch Klemm- oder Steckverbin-  
dungen mechanisch miteinander verbunden und ggf. zusätzlich verschweißt  
oder verlötet.

Nach einem weiteren Aspekt der beschriebenen Ausführungsformen lässt sich die gesamte Wicklung aus nur wenigen verschiedenen Formteiltypen  
15 aufbauen. Gemäß einer Ausführungsform werden für den Aufbau der Wick-  
lung - eventuell abgesehen von der Verschaltung der Spulen - nur zwei ver-  
schiedene Typen von L-Formteilen benötigt, deren Verbindungsleiterschenkel  
flacher als die Nutstabschenkel ausgebildet sind. Ein erster Typ ist dazu aus-  
gebildet, eine Verbindung in ein und derselben Wicklungslage zu bilden, wäh-  
rend ein zweiter Typ dazu ausgebildet ist, eine Überführung von einer Wick-  
lungslage in die nächste zu bilden. In einer bevorzugten Ausführungsform ist  
am Ende jedes Nutstabschenkels eine abgeflachte Lasche angeordnet, wobei  
bei dem einen Typ von L-förmigen Formteil die abgeflachte Lasche und der  
flachere Schenkel beide auf der Höhe der Unterseite des Nutstabschenkels  
25 liegen, während bei dem anderen Typ von L-förmigen Formteil die abgeflachte  
Lasche auf der Höhe der Oberseite des Nutstabschenkels liegt und der flache-  
re Schenkel auf der Höhe der Unterseite des Nutstabschenkels. Hierbei stellt  
ein Formteil von Typ 1 eine Hälfte einer Spulenwindung dar. Durch ein daran  
angeschlossenes Formteil vom Typ 2 wird die Windung vervollständigt und  
30 die Wicklung durch den Verbindungsleiter dieses Formteils in die nächste

Wicklungslage überführt. Indem abwechselnd Formteile vom Typ 1 mit Formteilen vom Typ 2 verbunden werden, entsteht eine wendelartige Spule.

Nach einer anderen Ausführungsform wird zum Aufbau der Wicklung sogar nur ein einziger Formteiltyp benötigt. Und zwar könne Spulen auch ausschließlich aus L-Formteilen z.B. von Typ 2 aufgebaut werden, sofern die Nuten groß genug ausgebildet sind, um ausreichend Luft in Richtung der Nuttiefe für die Verbindungsstellen zwischen den Formteilen zu lassen. Alternativ kann auch jede zweite Nut radial zu den anderen Nuten versetzt werden, um den Aufbau der Wicklung aus L-Formteilen eines einzigen Typs zu ermöglichen.

Zum Verschalten der so erhaltenen Wicklung werden ggf. weitere Formteiltypen verwendet. Beispielsweise ist ggf. ein weiterer Formteiltyp zur Verbindung von zwei hintereinandergeschalteten Spulen vorgesehen. Bevorzugt ist dieses Formteil U-förmig ausgebildet und wird von zwei Nutstabschenkeln und einem Verbindungsleiterabschnitt gebildet, der flacher als die Nutstabschenkel ausgebildet ist. Zum Anschließen einer Spule an eine Stromzuführung wird ggf. ein weiterer Formteiltyp verwendet. In einigen Ausführungsformen handelt es sich hierbei um einen weiteren Typ eines L-förmigen Formteils, dessen Verbindungsleiterschenkel flacher als der Nutstabschenkel ausgebildet ist, wobei am Ende des Nutstabschenkels eine verlängerte abgeflachte Lasche zum Verbinden mit einer Stromschiene angeordnet ist. In anderen Ausführungsformen sind derartige Laschen an den Stromschienen selbst angeordnet, so daß zum Anschließen der Wicklung ein Standardformteil vom Typ 1 oder 2 verwendet werden kann.

Bei der bevorzugten Ausführungsform des Herstellungsverfahrens werden L-Formteile axial von den Stirnseiten in die Nuten des Ständerkörpers eingesetzt. Dies hat den Vorteil, daß die Nuten an ihrem Nutkopf durch Polschuhe o.ä. verengt sein können und so der effektive Luftspalt verringert wird. Nach dem Einsetzen werden die Formteile an ihrem Nutstabende jeweils mit dem Verbindungsleiterschenkel eines von der gegenüberliegenden Stirnseite eingesetzten Formteils verbunden.

Im beschriebenen Verfahren werden die Formteile lagenweise eingesetzt und miteinander verbunden. Hierbei wird die am Nutboden liegende Wicklungslage zuerst eingesetzt und die weiteren Wicklungslagen in der Reihenfolge von radial außen nach innen eingesetzt. Die abgeflachten Laschen der Nutstäbe werden hierbei von oben, d.h. radial von innen auf die entsprechenden Verbindungsbereiche aufgesetzt, so daß die Verbindungsstellen von dieser Seite zum Verschweißen (z.B. durch Laserstrahl) zugänglich sind. Die Wicklungsmontage kann selbstverständlich auch in umgekehrter Richtung, also von innen nach außen erfolgen. Bei dieser Variante werden die Verbindungsstellen radial von außen verschweißt.

Im Detail wird in einem Schritt a von einer Stirnseite des Ständers in mehrere Nuten - z.B. in jede zweite Nut - je ein Nutstabschenkel eines L-förmigen Formteils eingesetzt. Hierbei können die Nutstäbe der Formteile in der gleichen Wicklungslage zu liegen kommen. Die - noch nicht von anderen Formteilen verdeckten - Nutstabenden der in Schritt (a) eingesetzten Formteile werden in Schritt (b) auf der gegenüberliegenden zweiten Stirnseite mit den Verbindungsleiterschenkeln der vorher eingesetzten Formteile oder mit Stromschienen verbunden. In die in Schritt (a) übriggebliebenen Nuten wird nun von der zweiten Stirnseite je ein Nutstabschenkel eines L-Formteils eingesetzt (Schritt c), wodurch die in Schritt b hergestellten Verbindungsstellen verdeckt werden.. In Schritt (d) werden die Nutstabenden der in Schritt (c) eingesetzten Formteile auf der ersten Stirnseite mit den Verbindungsleiterschenkeln von darunter liegenden Formteilen verbunden. Diese Schritte werden wiederholt, bis die Nuten bis zum Nutkopf fast oder ganz mit Nutstäben gefüllt sind. Anschließend werden ggf. Formteile eingesetzt, die aufgrund ihrer Geometrie zum Verschalten der Wicklung geeignet sind. Beispielsweise werden ggf. U-förmige Formteile eingesetzt, durch die jeweils zwei wendelförmige Spulen in Reihe geschaltet werden, oder ein Verbindungsstück zum Anschließen der Wicklung an eine Stromschiene.

Nach einem weiteren Aspekt der bevorzugten Ausführungsformen sind die Verbindungsleiter von überlappenden Spulen mit wenigstens einer voll-

ständigen Windung ineinander verschränkt angeordnet. Hierbei sind die Verbindungsleiter in Lagen angeordnet und vorzugsweise flacher als die Nutstäbe ausgebildet, beispielsweise so flach, daß die zu einer Wicklungslage gehörende Lage von Verbindungsleitern der verschiedenen überlappenden Spulen nicht dicker als ein Nutstab ist. Werden mehrere derartige Lagen von ineinander verschränkten Verbindungsleitern übereinander gesetzt, so können Spulen mit beliebiger Windungszahl aufgebaut werden. Auch in der Wicklung der DE 197 36 645 A1 sind die Verbindungsleiter flacher als die Nutstäbe. Hier sind die Verbindungsleiter überlappender Spulen aber an den Stirnseiten nicht ineinander verschränkt angeordnet, sondern jeweils zu Wickelköpfen gebündelt. Um das jeweilige Bündel zu erreichen, ist jeder Verbindungsleiter gegenüber dem mit diesem verbundenen Nutstab in Richtung der Nuttiefe versetzt (gekröpft), was Nachteile mit sich bringt (viele verschiedene Formteile, Platzbedarf für die Versetzung). Bei verschränkter Anordnung der Verbindungsleiter entfällt hingegen die Notwendigkeit, die Verbindungsleiter gegenüber den Nutstäben zu versetzen, so daß der Platzbedarf der Wickelköpfe geringer ist.

Um die abgeflachten Verbindungsleiter überlappender Spulen in verschränkter Anordnung ohne Kröpfung aneinander vorbei zu führen, sind sie an den Stirnseiten des Ständers zum Beispiel schräg zur Verbindungsleitung zwischen den beiden Nuten geführt, deren Nutstäbe sie verbinden. Mit Verbindungsleitung ist hierbei die Senkrechte auf die Winkelhalbierende des durch die beiden Nuten definierten Sektors des Ständers gemeint. Die Verbindungsleitung hat also für jedes Nutenpaar eine andere Richtung. Durch diese schräge Führung werden die Verbindungsleiter einer Wicklungslage schuppenartig übereinander geschichtet.

In den dargestellten Beispielen ist eine Wicklung mit ineinander verschränkten Verbindungsleitern aus L-förmigen Formteilen aufgebaut. In anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen ist eine solche Wicklung z.B. aus einzelnen Nutstäben und Verbindungsleitern (I-Formteilen), aus C- oder U-förmigen Formteilen oder aus Formteilen aufgebaut, die zur Zeit des Einsetzens bereits eine vollständige Windung umfassen (O-Formteile).

Um die Wicklung an den Stirnseiten möglichst raumsparend zu gestalten, wurde es als vorteilhaft erkannt, die Wicklung nach einem Wickelschema auszuführen, bei dem an den Stirnseiten jeweils möglichst wenige Wickelköpfe überlappend aneinander vorbei geführt werden. Als einfaches Beispiel sei 5 eine Drehstromwicklung mit einer Nut pro Pol und Strang (Einlochwicklung) genannt: Hier verlaufen an den Stirnseiten jeweils nur zwei Wickelköpfe überlappend. Anders liegen die Verhältnisse z.B. bei Wicklungen mit mehreren Nuten pro Pol und Strang (Mehrlochwicklungen), welche verwendet werden, um gegenüber Einlochwicklungen einen günstigeren Feldverlauf zu erzielen, 10 der besser an eine Sinusform angeglichen ist. Wie aus dem in "Fachkunde Elektrotechnik" auf S. 331 gezeigten Wickelschema für eine Drehstrom-Zweilochwicklung hervorgeht, verlaufen hierbei z.B. jeweils 4 Wickelköpfe an den Stirnseiten überlappend. Selbst bei einer platzsparenden Verschränkung der Verbindungsleiter würden sich hierdurch weiter ausladende Wickelköpfe 15 ergeben, da die Verbindungsleiter als Ausgleich für ihre um den Faktor 4 geringe Dicke i.a. breiter auszubilden wären, um ungefähr die gleiche Leiterquerschnittsfläche wie die Nutstäbe zu erreichen.

Um die Anzahl der jeweils aneinander vorbeilaufenden Wickelköpfe bei Mehrlochwicklungen zu reduzieren, ist die Wicklung bei den beschriebenen 20 Ausführungsformen daher gesehnt ausgeführt. Bei einer gesehnten Wicklung ist die Spulenweite kleiner als die Polteilung. Unter Polteilung versteht man den in Nuten ausgedrückte Abstand zwischen zwei magnetischen Polen. Die Spulenweite gibt an, um wie viele Nuten von der ersten Spulenseite entfernt die zweite Spulenseite eingelegt wird. In den bevorzugten Ausführungsformen 25 ist die Polteilung 6, die Spulenweite aber nur 5. Das bedeutet, daß die Wickelköpfe der Spulen gegenüber einer ungewohnten Wicklung verkürzt sind, da sie nur 4 anstatt 5 Nuten überbrücken müssen. Insgesamt sind die an den Stirnseiten verlaufenden Abschnitte der Wicklung daher kürzer, und damit wird weniger Platz beansprucht und die ohmschen Verluste der Wicklung reduziert. Bei der gezeigten Drehstrom-Zweilochwicklung wird durch die 30 Sehnen der Wicklung z.B. erreicht, daß an den Stirnseiten nur jeweils drei statt

vier Wickelköpfe überlappend geführt werden. Die Wahl eines derartigen ge-  
sehrten Wickelschemas ist besonders für Formteilwicklungen vorteilhaft im  
Sinne der Erzielung eines kompakten Wickelkopfbereichs, ist aber bei Wick-  
lungen aus Drahtgebilden mit entsprechenden Vorteilen anwendbar.

5 Die in den Ausführungsbeispielen gezeigten Wicklungen weisen mehre-  
re wendelartige Spulen auf, wobei jeweils zwei Spulen derart in Reihe ge-  
schaltet sind, daß der Strom in einer der Spulen durch die Wendel in Richtung  
Nutkopf fließt, und in der anderen in Richtung Nutboden. Bei den Spulen sind  
die Verbindungsleiter flacher als die Nutstäbe ausgebildet und an den Stirnsei-  
10 ten schräg zur Verbindungsleitung zwischen den beiden Nuten übereinander ge-  
schichtet, deren Nutstäbe sie verbinden. Eine wendelförmige Spule wird dann  
z.B dadurch gebildet, daß die auf einer Stirnseite gelegenen Verbindungsleiter  
Nutstäbe der gleichen Lage verbinden und die auf der anderen Stirnseite gele-  
genen Verbindungsleiter Nutstäbe aus radial übereinanderliegenden Lagen.  
15 Eine solche Wicklung kann z.B. aus L-Formteilen hergestellt werden. Es kön-  
nen aber grundsätzlich auch andere Formteile (z.B. U-, C-, I-, oder O-förmige)  
oder Drahtspulen verwendet werden.

Durch die gezeigte Hintereinanderschaltung zweier wendelartiger Spu-  
len wird erreicht, daß die Anschlüsse an die Stromschienen entweder am  
20 Nutboden oder am Nutkopf angeordnet sind, also beide auf der gleichen Seite  
der Verbindungsleiter. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn auch das  
Stromschienenpaket auf dieser Seite der Verbindungsleiter angeordnet ist. Bei  
(nicht in Reihe geschalteten) Einzelspulen müßte dann hingegen ein An-  
schlußstück quer über die Verbindungsleiter vom Nutkopf zum Nutboden ge-  
25 führt werden, welches Platzbedarf in Axialrichtung hätte. Bei der Serienschal-  
tung kann aber ein Verbindungsstück, das die beiden Spulen in Reihe schal-  
tet, parallel zu den Verbindungsleitern laufen und kann somit platzsparend in  
Radialrichtung über den Verbindungsleitern geschichtet sein. Das Verbin-  
dungsstück kann z.B. das Mittelstück eines U-förmigen Formteils sein.

30 Die in den Ausführungsbeispielen verwendeten Formteile - ob L-förmig  
oder anders geformt - sind bevorzugt durch Ur- oder Umformtechnik, spanlos

oder spanend hergestellt, beispielsweise durch Gießen, Fließpressen, Sintern, Prägen, Stanzen, Fräsen und Biegen oder durch Kombinationen dieser Fertigungstechniken. Beispielsweise werden die Formteile aus einem Blech von der Dicke der Nutstäbe ausgestanzt, die Dicke der Stanzteile im Bereich der Verbindungsleiter und der abgeflachten Laschen durch Massivprägen reduziert, und zuletzt das beim Prägen verdrängte Material abgeschnitten.

Alternativ kann ein Formteil auch aus Halbzeugen hergestellt werden, die z.B. durch Widerstandschweißen zusammengefügt werden. Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird beispielsweise ein L-förmiges Formteil aus zwei stabförmigen, sog. I-Formteilen mit unterschiedlicher Querschnittsform hergestellt, so daß ein I-Formteil den Verbindungsleiterschenkel und ein anderes I-Formteil den Nutstabschenkel bildet. Der Nutstabschenkel kann z.B. von einem Stück Vierkantdraht gebildet sein, während für den Verbindungsleiter z.B. ein Flachdraht oder ein ausgestanztes Flachteil verwendet wird. Die I-Formteile lassen sich aufgrund ihrer einfachen Form mit wenig Verschnitt herstellen.

In einer weiteren Ausführungsform sind die Formteile aus mehreren Schichten aufgebaut. Hierbei wird z.B. auf ein flaches, L-förmiges Formteil im Bereich des Nutstabs ein stabförmiger Baustein aufgesetzt, um den Nutstabbereich zu verdicken. Mehrere Schichten können z.B. aufeinanderpaketiert werden. In einer weiteren Ausführungsform wird ein ähnliches Ergebnis erzielt, indem flaches Ausgangsmaterial derart gefaltet wird, daß im Nutstabbereich die gewünschte Dicke erhalten wird.

Die Formteile enthalten leitfähiges Material wie Kupfer oder Aluminium oder Legierungen dieser Metalle und sind gegeneinander isoliert.

Zum Anschließen der beschriebenen Wicklungen an eine Stromquelle werden bevorzugt umlaufende Stromschielen verwendet, entlang derer mehrere parallelgeschaltete Spulen oder Spulengruppen angeschlossen sind. Diese sind bevorzugt in regelmäßigen, durch das Wickelschema vorgegebenen, Abständen entlang des Umfangs der Stromschiene angeschlossen. Die Spulenenden werden also nicht über Verbindungsstücke mit zentralen Anschlußpunk-

ten verbunden, sondern können ggf. direkt mit den Stromschienen verbunden, z.B. verschweißt, werden.

Die gezeigten Ausführungsformen der Wicklung zeichnen sich durch einen kompakten Wickelkopfbereich aus. Insbesondere sind die Verbindungsleiter so flach ausgebildet und derart angeordnet, daß die Wickelköpfe an den Stirnseiten in Radialrichtung nicht mehr Platz in Anspruch nehmen, als durch die Nuttiefe gegeben ist. Es bleibt also die stirnseitige Fläche des Ständerkörpers unterhalb der Nuten frei. Anders ausgedrückt handelt es sich um die Fläche am Rücken des Ständers, welcher der Rückführung des magnetischen Flusses dient. Dieser Platz steht zum Verschalten der Spulen zur Verfügung. Durch Anordnung der Stromschienen oder anderer Bauteile zum Verschalten der Wicklung an dieser Stelle kann der Raum zumindest an einer Stirnfläche des Ständerkörpers vollständig ausgefüllt und so die Ausdehnung des magnetisch nicht aktiven Raums des Ständers in Axialrichtung minimiert werden.

Zudem sind so die Stromschienen in unmittelbarer Nähe der Spulen angeordnet. Die Stromschienen zum Anschluß der Wicklung sind daher bevorzugt in Richtung der Nuttiefe unterhalb der Verbindungsleiter angeordnet.

In einer ersten Ausführungsform sind mehrere oder alle Stromschienen in der Längsrichtung der Nuten, also z.B. in Axialrichtung, nebeneinander geschichtet, so daß sie bevorzugt direkt an die Wickelköpfe angrenzen und dadurch auf kurzem Wege direkt mit der Wicklung verbunden werden können. Bevorzugt weist mindestens eine Stromschiene an der den Verbindungsleitern zugewandten Seite Erhöhungen auf, mit denen Spulenenden verbunden sind. Gemäß einer anderen Ausführungsform sind hingegen mehrere oder alle Stromschienen in Richtung der Nuttiefe übereinander geschichtet. In beiden Alternativen weist bevorzugt mindestens eine Stromschiene auf der den Verbindungsleitern zugewandten Seite Laschen auf, die sich über die anderen Stromschienen erstrecken und mit denen jeweils ein Spulenende verbunden ist.

Bei manchen Ausführungsformen, bei denen jeweils vier Spulen in Reihe geschaltet sind, bilden die Verbindungsstücke zwischen jeweils zwei und

zwei in Reihe geschalteten Spulen eine weitere Stromschiene aus mehreren voneinander isolierten Sektoren.

Die Ausrüstung mit umlaufenden Stromschienen ist im übrigen allgemein bei jeder Art von Wicklung für eine elektrische Maschine mit parallelgeschalteten Spulen vorteilhaft. Die vorliegende Beschreibung offenbart damit auch einen Wicklungsaufbau für eine elektrische Maschine mit einer mehrphasige Wicklung, wobei mehrere parallelgeschaltete Spulen oder Spulengruppen der Wicklung an einer umlaufenden Stromschiene angeschlossen sind, bei dem übrige Merkmale der Ansprüche 1 bis 4 nicht vorhanden sind (wohl aber fakultativ vorhanden sein können).

Insgesamt wird bei den beschriebenen Ausführungsformen der Platz an den Stirnflächen eines Ständerkörpers raumsparend ausgenutzt, wodurch insbesondere eine geringe axiale Ausdehnung des magnetisch nicht aktiven Volumens des Ständers erreicht wird. Die bevorzugte Formteilwicklung hat zudem einen hohen Füllfaktor, so daß eine hohe Drehmomentdichte erzielt wird. Die bevorzugten Ausführungsformen eignen sich daher insbesondere zur Verwendung bei einem Kurbelwellen-Starter-Generator für ein Kraftfahrzeug. Hierbei handelt es sich um eine als Starter- und Generator fungierende elektrische Maschine, die konzentrisch auf der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors sitzt und vorzugsweise ohne Zwischenübersetzung drehfest mit dieser Welle verbunden ist. Aufgrund des begrenzten Einbauraums ist die axiale Ausdehnungsmöglichkeit eines Starter-Generators gering, andererseits sind für den Direktstart hohe Drehmomente erforderlich.

Nun zurückkommend auf die Figuren 1-4, sind dort die für den Aufbau der bevorzugten Wicklung verwendeten Formteiltypen einzeln vorgestellt und erläutert.

Fig. 1 zeigt eine perspektivische Ansicht eines L-Formteils 1 vom ersten Typ. Ein Schenkel 8a des L-Formteils 1 bildet in der fertigen Wicklung einen Nutstab 8, während der andere Schenkel 6a an der Stirnseite des Ständers liegt und in verschiedenen Nuten liegende Nutstäbe 8 miteinander verbindet. Im folgen haben Nutstäbe bzw. Verbindungsleiter allgemein die Bezugszei-

chen 8 bzw. 6, während die zu bestimmten Formteiltypen gehörenden Nutstabschenkel und Verbindungsleiterschenkel mit 8a, 8b bzw 6a, 6b bezeichnet werden.

Die Verbindungsleiter 6 sind flacher und breiter ausgebildet als die Nutstäbe 8, wie aus den in Fig. 1b dargestellten Querschnittsansichten der beiden Schenkel 6a und 8a ersichtlich ist. Und zwar weisen die Nutstäbe 8 eine Dicke H und eine Breite B auf, wobei die Breite B in dem gezeigten Ausführungsbeispiel so gewählt ist, daß der Nutstab in der Breite jeweils eine Nut ausfüllt. Möglich sind aber auch Ausführungsformen, bei denen in einer Nut mehrere 10 Nutstäbe nebeneinander, d.h. in gleicher Höhe vom Nutboden, zu liegen kommen. Die Dicke h des Verbindungsleiters 6 beträgt beispielsweise ein Drittel der Dicke H des Nutstabs 8, während die Breite b etwa dreimal so groß ist wie die Breite B des Nutstabs 8. Der Leiterquerschnitt ist also in beiden Schenkeln des gezeigten Formteils in etwa gleich.

Das Formteil 1 weist am freien Ende des Nutstabs 8a eine abgeflachte Lasche 10a auf. Bei dem in Figur 1 gezeigten ersten Typ liegt die Lasche 10a auf gleicher Höhe wie der Verbindungsleiter 6a, nämlich auf der in der Zeichnung unten liegenden Seite des Nutstabschenkels 8a. Die (nicht sichtbaren) Unterseiten des Nutstabs 8a, des Verbindungsleiters 6a und eines nahe zum 20 Nutstab 8a liegenden Übergangsbereiches 12 der Lasche 10a liegen also in einer Ebene. Der Übergangsbereich 12 der Lasche 10a weist etwa die gleiche Dicke auf wie der Verbindungsleiter 6a, also ca. ein Drittel der Dicke des Nutstabs. Am äußersten Ende der Lasche 10a befindet sich ein Verbindungs- 25 bereich 13, der gegenüber dem Übergangsbereich 12 noch weiter abgeflacht ist, nämlich auf etwa ein Sechstel der Dicke des Nutstabs. Der Übergang zwischen den Bereichen 12 und 13 erfolgt durch eine Stufe auf der Unterseite der Lasche 10a. Der Verbindungsreich 13 läßt also auf der Unterseite gegenüber der Höhe der Unterseite des Nutstabs 8a einen Raum in Höhe etwa eines Sechstels der Nütstabdicke frei.

30 Zum Verbinden zweier Formteile wird der Verbindungsreich 13 der Lasche 10a auf das Ende des Verbindungsleiters eines zweiten Formteils auf-

gesetzt und mit diesem verbunden, z.B. verschweißt. Der Verbindungsreich 13 der Lasche 10a ist daher - ebenso wie ein Verbindungsreich 16 am Ende des Verbindungsleiters 6 - nicht mit einer isolierenden Schicht versehen, was in der Zeichnung durch eine Schraffur gekennzeichnet ist. An den nicht schraffierten Flächen ist Formteil 1, ebenso wie die anderen gezeigten Formteile, isolierend beschichtet. Damit die Verbindungsstelle zwischen zwei Formteilen, die im dicht gepackten Wickelkopfbereich liegt, nicht dicker als ein Verbindungsleiter 6 ist, ist der Verbindungsreich 16 des Verbindungsleiters 6a auf etwa die Hälfte der Dicke des Verbindungsleiters 6a abgeflacht. Durch kann der Laschen-Verbindungsreich 13 auf einen Verbindungsreich 16 aufgelegt und verschweißt werden, ohne daß die Dicke des Verbindungsleiters 6 an der Verbindungsstelle überschritten wird. Da der möglichst kurz gehaltene Übergangsbereich 12 und die Verbindung selbst nur etwa ein Drittel der Höhe des Nutstabs 8a aufweisen, liegt dort eine Querschnittsverengung vor, die zugunsten einer dicht gepackten Wickelkopfanordnung der Verbindungsleiter in Kauf genommen wird. Der Übergangsbereich 12 kann vorteilhaft sein, indem er einen Abstand zwischen Nutstäben und Wickelkopfbereich schafft. Er sollte einen möglichst großen Leiterquerschnitt aufweisen. Der Übergangsbereich 12 kann auch als stufenloser Übergang zwischen Nutstab und Verbindungsreich 13 ausgebildet sein. Bei anderen Ausführungsformen ist der Übergangsbereich 12 weggelassen, dort schließt der Verbindungsreich 13 direkt an den Nutstab 8 an.

Fig. 2 zeigt einen zweiten Typ eines L-förmigen Formteils 2, welcher zusammen mit dem ersten Typ zur Bildung einer vollständigen Windung einer wendelförmigen Spule verwendet wird. Das Formteil 2 ist im wesentlichen gleich aufgebaut wie das Formteil 1, insbesondere sind die Längen und die Querschnitte B-B und A-A der Verbindungsleiter 6a, 6b und Nutstäbe 8a, 8b der beiden Formteile gleich. Auch bei Formteil 2 ist am freien Ende des Nutstabs 8b eine abgeflachte Lasche 10b angeordnet. Im Gegensatz zur Lasche 10a von Formteil 1 ist die abgeflachte Lasche 10b aber nicht auf gleicher Höhe wie der Verbindungsleiter 6b angeordnet, sondern ist zu der ge-

genüberliegenden Fläche des Nutstabs 8a versetzt. Und zwar ist die Lasche 10b des Formteils 2 auf der Höhe der (in Fig. 2 oben liegenden) Seite des Nutstabs 8b angeordnet, während der Verbindungsleiter 6b - wie bei Formteil 1 - auf der Höhe der Unterseite des Nutstabs 8b angeordnet ist. Ansonsten 5 ist die Lasche 10b des Formteils 2 gleich ausgebildet wie die Lasche 10a des Formteils 1: Sie weist einen Übergangsbereich 12 auf, der sich direkt an den Nutstab 8b anschließt und etwa so flach wie der Verbindungsleiter 6b ist, und einen noch weiter abgeflachten Verbindnungsbereich 13 am äußersten Ende der Lasche 11. Dieser Bereich 13 ist wiederum so flach ausgebildet, daß 10 seine Dicke zusammen mit der Dicke des abgeflachten Verbindnungsbereichs 16 eines Verbindungsleiters 6 etwa der Dicke  $h$  eines Verbindungsleiters 6 entspricht. Die Stufe zwischen dem Übergangsbereich 12 und dem Verbindnungsbereich 13 liegt auf der nach unten weisenden Seite der Lasche 10b, so daß beim zweiten Typ die obere Seite der gesamten Lasche 10b auf der gleichen Höhe wie die obere Seite des Nutstabs 8b liegt.

Fig. 3 zeigt einen dritten Typ eines L-förmigen Formteils 3, welches dazu dient, die Wicklung mit den Stromschienen zu verbinden. Formteil 3 gleicht im Prinzip Formteil 1, weist aber anstatt der Lasche 10a eine verlängerte Lasche 26 auf, welche mit einer Stromschiene verbunden, z.B. verschweißt, 20 wird und daher keine Isolierung aufweist. Die Lasche 26 hat vorzugsweise die gleiche Dicke  $h$  wie ein Verbindungsleiter 6. Die Formteile 3 liegen vorteilhaft in der untersten Wicklungslage der Nuten, so daß die verlängerten Laschen 26 ggf. direkt an die unter den Nuten angeordneten Stromschienen angrenzen. Alternativ können die Formteile 3 auch in der obersten Wicklungslage 25 liegen.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform sind die Laschen zum Anschließen der Wicklung an die Stromschienen auf den Stromschienen selbst angeordnet. Es werden dann keine speziell ausgebildeten Formteile 3 vom dritten Typ benötigt, sondern es werden z.B. die Formteile 1 vom ersten 30 Typ mit ihren Laschen 10a auf die verlängerten Laschen 26 der Stromschienen aufgeschweißt.

Fig. 4 zeigt schließlich einen Typ eines U-förmigen Formteils, welcher verwendet wird, um zwei wendelförmige Spulen einer Wicklung in Reihe zu schalten. Das U-förmige Formteil 4 weist zwei Nutstabschenkel 8b, 8b' auf, welche in ihrer Länge und Querschnittsform A-A mit den Nutstabschenkeln 8a, 5 8b der Formteile 1 und 2 übereinstimmen. Beide Nutstäbe 8b, 8b' weisen an ihrem freien Ende eine abgeflachte Lasche 10b auf, welche auf der Höhe der in der Zeichnung oben liegenden Seite des Nutstabs 8b bzw. 8b' angeordnet ist und somit der Lasche 10b des L-Formteils 2 entspricht. Der die beiden Nutstäbe 8b, 8b' verbindende Verbindungsleiter 7 weist die gleiche Querschnittsform B-B auf wie die Verbindungsleiter 6a, 6b der Formteile 1 und 2, 10 ist aber um einen Nutabstand länger als diese. Ist z.B. der Verbindungsleiter 6a, 6b der Formteile vom ersten und zweiten Typ so lang, daß eine Spule mit in einem Abstand von 5 Nuten liegenden Nutstäben 8 aufgebaut werden kann, so ist der Verbindungsleiter 7 des U-Formteils zwecks Verbindung 15 zweier Spulen länger ausgebildet, hier z.B. so, daß die beiden Nutstabschenkel 8b, 8b' in einem Abstand von 6 Nuten zueinander zu liegen kommen. Eine weitere Besonderheit des Verbindungsleiters 7 ist, daß er in Bezug zu den beiden Nutstabschenkeln 8b, 8b' nicht in ein- und derselben Ebene liegt. Vielmehr liegt er einerseits auf der Höhe der (in der Zeichnung) oberen Seite 20 des einen Nutstabschenkels 8b, andererseits jedoch auf der Höhe der Unterseite des anderen Nutstabschenkels 8b'. Liegen in der fertigen Wicklung beide Nutstabschenkel 8b, 8b' des U-Formteils in der gleichen Wicklungslage, liegt er daher leicht schräg zu der Verbindungsleitung zwischen den beiden Nuten mit den Nutstäben 8b, 8b'. Wie durch eine Naht 27 angedeutet, kann das 25 U-förmige Formteil z.B. aus zwei L-förmigen Formteilen hergestellt sein, die am Ende ihrer Verbindungsleiterschenkel abgeflachte Bereiche aufweisen, welche aufeinandergelegt und miteinander verschweißt werden.

Fig. 5 zeigt verschiedene Möglichkeiten, ein L-Formteil nicht nur aus einem Stück aus dem Vollen, sondern aus mehreren Teilen herzustellen. Bei der 30 in Fig. 5a gezeigten bevorzugten Ausführungsform wird ein L-Formteil z.B. aus zwei stabförmigen I-Formteilen zusammengesetzt. Die für Verbindungslei-

ter 6 und Nutstab 8 benötigten I-Formteile mit unterschiedlichen Längen und Querschnittsformen können z.B. jeweils aus einem Halbzeug gewonnen werden. Ein Nutstab 8 kann beispielsweise durch Abschneiden von einem Vierkantdraht mit passender Querschnittsform hergestellt werden. An einem (nicht gezeigten) Ende des Vierkantdrahts wird eine Lasche 10 eingeprägt und das verdrängte Material abgeschnitten. Das anderen Ende wird auf ähnliche Weise geprägt und beschnitten, um es mit einer Ausnehmung 22 zu versehen, in die ein Fortsatz 21 des Verbindungsleiters eingesetzt und mit dem Nutstab verbunden werden kann. Der Verbindungsleiter 6 wird bevorzugt aus einem Flachband ausgestanzt. An einer Ecke des Verbindungsleiters 6 wird ggf. ein abgeflachter Verbindungsreich 16 eingeprägt und das verdrängte Material abgeschnitten. Bevorzugt werden Nutstab 8 und Verbindungsleiter 6 durch Widerstandsschweißen miteinander verbunden. Hierfür werden in den Fortsatz 21 vorzugsweise Schweißnuppen eingeprägt. Unter Umständen wird der Nutstab 8 an dem gezeigten Ende noch weiter abgeprägt, so daß dieses Nutstabende die gleiche Materialstärke aufweist wie der Fortsatz 21 des Verbindungsleiters 6. Beim Schweißen erweist sich die so erzeugte Symmetrie in der Materialstärke und Wärmeableitung vorteilhaft. Geeignete Verbindungs-techniken, um bei der in Fig. 5a gezeigten Variante zwischen Verbindungsleiter 6 und Nutstab 8 eine elektrische Verbindung herzustellen, sind außerdem Schweißen (Laserschweißen), Löten oder Kleben mit leitendem Klebstoff, sowie form- oder kraftschlüssige Verbindungen.

Bei den in Fig. 5b und c dargestellten Varianten ist das L-Formteil aus mehreren Schichten aufgebaut. Das in Fig. 5b gezeigte Formteil ist z.B. aus einer flachen, L-förmigen Schicht 18 und einer nur im Nutstabbereich aufgesetzten zweiten Schicht 19 zusammengesetzt. Die unter der Schicht 19 hervorstehenden Bereiche der Schicht 18 bilden auf der einen Seite den Verbindungsleiter 6, auf der anderen Seite die Lasche 10a. Das Formteil ist also vom Typ 1. Um ein Formteil vom Typ 2 herzustellen, bei dem Lasche 10b und Verbindungsleiter 6 nicht auf der gleichen Ebene angeordnet sind, wird gemäß Fig. 5c noch eine weitere Schicht 20 aufgesetzt, die am Nutstabende

über die Schicht 19 übersteht und somit eine Lasche 10b bildet. Die Schicht 19' in Fig. 5c ist entsprechend um die Dicke der Schicht 20 dünner als die Schicht 19 der Fig. 5b ausgebildet. Die aufeinandergesetzten Schichten werden vorzugsweise durch Löten, Schweißen (Ultraschall-, Laser- oder Widerstands schweißen), Toxen oder Stanzpaketieren miteinander verbunden.

Anhand der Fig. 6 bis 8 soll nun der Aufbau einer Wicklung mit überlappenden Spulen aus L-Formteilen erläutert werden. In den Figuren wird hierzu der Aufbau der untersten Wicklungslage mit wenigen Formteilen demonstriert. Die Formteile sind der Einfachheit halber ohne Ständerkörper und auf einer ebenen Fläche liegend dargestellt; in einem Ständerkörper einer Radialfeldmaschine wären die Formteile auf der Innenmantelfläche eines Zylinders angeordnet. Fig. 6 zeigt drei L-förmige Formteile vom Typ 3 mit verlängerten Laschen. Die Formteile 3 liegen in der in den Nuten zuunterst liegenden Wicklungslage und sind um je zwei Nutabstände zueinander versetzt angeordnet, so daß in jeder zweiten Nut der Nutstab 8a eines Formteils 3 zu liegen kommt. Die verlängerten Laschen 26 befinden sich alle an der gleichen Stirnseite des Ständerkörpers und sind dort mit darunter liegenden (nicht dargestellten) Stromschienen verbunden. Auf der anderen Stirnseite des Ständerkörpers sind die Verbindungsleiter 6 schuppenartig übereinandergeschichtet und bilden so eine Lage 28 von Verbindungsleitern. In der Verbindungsleiterlage 28 sind die Verbindungsleiter 6 derart geschichtet, daß sie mit ihrem freien Ende stets oben in der Lage liegen und der Verbindungs bereich 16 frei zugänglich ist, während das andere Ende durch andere Verbindungsleiter 6a verdeckt ist. Der Übergang zwischen Verbindungsleiter 6a und Nutstab 8a des gleichen L-Formteils 3 liegt in dem verdeckten Bereich.

In der Verbindungsleiterlage 28 liegen, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, maximal drei Verbindungsleiter 6a übereinander. Da die Dicke  $h$  der Verbindungsleiter 6a in dem gezeigten Ausführungsbeispiel ca. ein Drittel der Dicke  $H$  der Nutstäbe 8a beträgt, ist die Verbindungsleiterlage 28 also an keiner Stelle höher als die dazugehörige Lage von Nutstäben 8a.

Im gezeigten Beispiel verbinden die Verbindungsleiter 6a jeweils Nutstäbe im Abstand von fünf Nuten, wie nachfolgend noch erläutert wird. In anderen, nicht gezeigten Ausführungsbeispielen verbinden die Verbindungsleiter Nutstäbe in größerem oder kleinerem Abstand zueinander, so daß auch in 5 der Verbindungsleiterlage jeweils mehr oder weniger als drei Verbindungsleiter übereinander liegen. Bei diesen Wicklungen wird die Dicke  $h$  der Verbindungsleiter 6 vorteilhaft so gewählt, daß die Dicke einer Verbindungsleiterlage 28 jeweils der Dicke  $H$  eines Nutstabs 8 entspricht. Bei anderen Ausführungsformen, die zum Anschluß an die Stromschiene keinen speziellen Formteiltyp 10 vorsehen, wird bei den ersten Herstellungsschritten gemäß Fig. 6 der erste Formteiltyp verwendet.

Ist in jede zweite Nut entsprechend Fig. 6 ein Formteil 3 eingelegt, wird in die übrigen Nuten je ein Formteil vom zweiten Typ derart eingesetzt, daß sein Verbindungsleiter 6b auf der den Verbindungsleitern 6a der bereits eingesetzten Formteile 3 gegenüberliegenden Stirnseite des Ständerkörpers angeordnet ist (siehe Fig. 7). Der Verbindungsbereich 13 der abgeflachten Lasche 10b des Formteils 2 kommt hierbei auf dem abgeflachten Verbindungs- 15 Bereich 16 des Verbindungsleiters 6a eines Formteils 3 zu liegen. Das Formteil 2 wird mit dem Formteil 3 an dieser Stelle verbunden, z.B. durch Laserschweißen. Hierbei wird ein ausreichend energiereicher Laserstrahl auf die freiliegende Oberfläche 14 des Verbindungsbereichs 13 der Lasche 10b gerichtet. Das Material des Verbindungsbereichs 13 der Lasche 10b schmilzt dadurch auf und verbindet sich stoffschlüssig mit dem darunterliegenden Verbindungs- 20 Bereich 16 des Verbindungsleiters 6. Alternativ hierzu ist im Bereich 13 der Lasche 10b ein Schlitz angeordnet, durch den der Laserstrahl direkt auf die Grenzfläche zwischen dem Laschen-Endbereich 13 und der darunterliegenden Verbindungsstelle 16 gerichtet werden kann. Bei dieser Alternative braucht der Laserstrahl also den Laschen-Endbereich 13 nicht in seiner gesamten Dicke aufzuschmelzen. 25

Da der Endbereich 13 der Lasche 10b des Formteils 2 - wie im Zusammenhang mit Fig. 2 erläutert - auf der Höhe der Oberseite des Nutstabs 8b

angeordnet ist, kommt der Nutstab 8b des Formteils 2 in der gleichen Wicklungslage wie die Nutstäbe 8a der Formteile 3 zu liegen, wenn er auf den Verbindungsreich 16 des Verbindungsleiters 6a aufgesetzt wird. Dadurch wird der Höhenversatz ausgeglichen, der aufgrund der schuppenartigen 5 Schräglage der Verbindungsleiter 6a in der Verbindungsleiterlage 28 entstanden ist.

An der gegenüberliegenden Stirnseite liegt der Verbindungsleiter 6b des Formteils 2 ebenfalls schräg, und zwar an seinem nichtfreien Ende auf gleicher Höhe wie die verlängerten Laschen 26 der Formteile 3, beginnend von 10 dort zu seinem freien Ende ist er aber über diese Laschen geschichtet.

Fig. 8 zeigt die gleiche Wicklungsanordnung wie Fig. 7, bei der noch ein weiteres Formteil 2' entsprechend dem Formteil 2 eingesetzt wurde. Das Formteil 2' ist auf gleiche Weise wie das Formteil 2 mit seinem Laschen-Endbereich 13 am Ende seines Nutstabschenkels 8b' mit dem Verbindungsreich 16 eines Formteils 3 verbunden. Auf der gegenüberliegenden Stirnseite ist es mit seinem Verbindungsleiter 6b' schuppenartig über den Verbindungsleiter 6b des Formteils 2 geschichtet, so daß der Verbindungsreich 16 über dem Nutstabende des Formteils 3 zu liegen kommt, mit dem der Laschen-Endbereich 13 des Formteils 2' verbunden ist.

20 Setzt man nach dem in Fig. 8 gezeigten Schema noch weitere Formteile 2 und 3 jeweils in jede zweite Nut ein, erhält man eine vollständige Wicklungslage von Nutstäben 8. Die Verbindungsleiter der Formteile 2 bzw. 2' bilden dann eine zweite Verbindungsleiterlage 30 ähnlich der Lage 28 auf der anderen Stirnseite. Die Verbindungsleiter 6a, 6b der Formteile 2, 3 liegen jeweils mit ihrem freien Ende in diesen Lagen oben, so daß ihre nicht isolierten 25 Verbindungsstellen 16 nicht von anderen Verbindungsleitern der gleichen Lage verdeckt sind. Die Verbindungsleiterlagen 28 und 30 sind jeweils schräg geschichtet, und zwar so, daß die Verbindungsleiter 6b (in der Perspektive der Zeichnung) von links unten nach rechts oben, die Verbindungsleiter 6a 30 von rechts unten nach links oben verlaufen.

Das Formteil 2 bildet zusammen mit dem zugehörigen Formteil 3 nach Verschweißung eine vollständige Windung einer wendelförmigen Spule. Durch den schräg geschichteten Verbindungsleiter 6b des Formteils 2 wird die Wicklung in die nächsthöhere Wicklungslage überführt. Zum Fortsetzen der 5 Wendel wird ein - in Fig. 8 nicht gezeigtes - Formteil 1 auf das zur ersten Windung gehörige Formteil 3 gelegt und somit eine neue Wicklungslage begonnen. Mit dem Verbindungsreich 13 der Lasche 10a kommt das Formteil 1 somit auf der Verbindungsstelle 16 des entsprechenden Formteils 2 zu liegen und wird auf die vorstehend beschriebene Weise mit dieser verbunden. 10 Da die Lasche 10a des Formteils 1 auf der Höhe der Unterseite des Nutstabs 8a des Formteils 1 liegt, wird der durch die schräge Schichtung in der Verbindungsleiterlage 30 geschaffene Höhenversatz an dieser Verbindungsstelle nicht ausgeglichen, sondern führt im Gegenteil dazu, daß eine Wendel entsteht. Zur Bildung einer vollständigen Wicklung werden auf sämtliche Form- 15 teile 3 Formteile vom Typ 1 gelegt und an entsprechenden Verbindungsstellen 16 der Formteile 2 wiederum durch Schweißen verbunden. Um diese zweite Wicklungslage zu vervollständigen, werden in die übriggebliebenen Nuten, also in jede zweite Nut, weitere Formteile 2 auf die bereits eingesetzten Formteile 2 aufgesetzt und mit den Verbindungsstellen 16 der Formteile 1 durch 20 Schweißen verbunden. Die Verbindungsleiter der Formteile 1 bilden eine weitere Verbindungsleiterlage 28, die gleich aufgebaut ist wie die in Fig. 8 gezeigte Verbindungsleiterlage 28 der Formteile 3. Nach dem Einsetzen und Verbinden der zweiten Wicklungslage sind also mehrere überlappende Spulen mit jeweils zwei Windungen entstanden, deren Verbindungsleiter ineinander 25 verschränkt angeordnet sind.

Die Verschränkung der Verbindungsleiter überlappender Spulen ist schematisch in Fig. 12 dargestellt. Diese zeigt eine schematische Draufsicht auf die Stirnseite eines bewickelten Ständers, wobei die Stirnfläche der Verbindungsleiter 6b vereinfacht als Linien dargestellt sind. Die Verbindungsleiter 30 6b sind hier in vier schräg geschichteten Lagen 30 übereinander angeordnet. Die Verbindungsleiter 6b der verschiedenen Stränge sind durch unterschiedli-

che Linienarten gekennzeichnet, z.B. die zu Strang V gehörenden Verbindungsleiter durch durchgezogene Linien, die zu Strang W gehörenden Verbindungsleiter 6b durch strichpunktisierte Linien und die zu Strang U gehörenden Verbindungsleiter 6b durch gestrichelte Linien. Innerhalb einer Verbindungsleiterlage 30 wechseln sich die verschiedenen Stränge jeweils ab. Durch Übereinanderschichtung mehrerer gleicher Lagen und die entsprechenden Verbindungen zwischen den Formteilen dieser Lagen entstehen wendelförmige Spulen 50, 52, 50', 52', 50'', 52'', deren Verbindungsleiter ineinander verschrankt sind. Jeder Verbindungsleiter 6b einer Lage 30 gehört zu einer anderen Spule. Die Verbindungsleiter des Strang V gehören z.B. zu den Spulen 50, 52, die des Strang W zu den Spulen 50', 52' und die Verbindungsleiter des Strang U zu den Spulen 50'', 52''. Die Spule 52'' überlappt auf einer Seite mit den Spulen 52, 52' und auf der anderen Seite mit den Spulen 50, 50'.

Auf der anderen Stirnseite sind die Verbindungsleiter 6a auf entsprechend Weise angeordnet, mit dem Unterschied, daß die Verbindungsleiter 6a der Lage 28 jeweils Nutstäbe der gleichen Wicklungslage verbinden, während die Verbindungsleiter 6b der Lage 30 jeweils Nutstäbe aus übereinanderliegenden Wicklungslagen verbinden, so daß nach jeder Windung ein Wechsel in die nächsthöhere Wicklungslage erfolgt.

Die in Fig. 12 dargestellte Wickelkopfanordnung kann auch bei Wicklungen verwendet werden, die nicht aus L-Formteilen aufgebaut sind, sondern aus beliebigen anderen Formteilen. Auch die Wickelköpfe von Drahtspulen können im Prinzip ineinander verschrankt angeordnet werden, anstatt sich gebündelt an den Stirnseiten auszuweichen. Obwohl Fig. 12 eine dreiphasige Zwei-Loch-Wicklung zeigt, kann selbstverständlich jede beliebige Wicklung einer Wechselstrom- oder Gleichstrommaschine derart ausgeführt werden, daß die Verbindungsleiter überlappender Spulen ineinander verschrankt sind.

Fig. 9 zeigt ebenso wie Fig. 6 bis 8 einen Teil der in den Nuten zuunterst liegenden Wicklungslage. Die Abbildung zeigt jedoch nicht mehr die Idealisierung einer ebenen Abwicklung, sondern einen Ausschnitt eines gekrümmten Ständerkörpers 32 einer Radialfeldmaschine in Innenläuferbauart

(oder eines Läuferkörpers in Außenläuferbauart), in dessen Nuten 34 die Formteile 2,3 eingesetzt sind. Damit die eigentliche Wicklung besser sichtbar ist, sind nur die beiden Stirnseiten des Ständerkörpers 32 eingezeichnet. Der Ständerkörper 32 ist selbstverständlich massiv und typischerweise aus Elektroblechen hergestellt, die in Axialrichtung übereinander geschichtet sind. Die dargestellten Stirnseiten des Ständerkörpers 32 entsprechen also jeweils etwa dem äußersten Blech des Blechpaketes.

Die Formteile 2, 3 sind direkt über dem Nutboden in die Nuten 34 eingesetzt. Die Nuten 34 sind an ihrem Kopf 36 verengt, so daß die L-Formteile 10 2 und 3 nur in Axialrichtung in die Nuten einzuschieben sind. Von der dem Betrachter zugewandten Stirnseite ist bereits eine Lage von Formteilen 3 eingesetzt, von der gegenüberliegenden Stirnseite sind drei Formteile von Typ 2 eingesetzt.

In der gekrümmten Darstellung von Fig. 9 wird deutlich, daß die Verbindungsleiter 6 der L-Formteile leicht in Radialrichtung gebogen sind. Dies 15 dient zum einen dazu, die Verbindungsleiter zu einer möglichst kompakten Verbindungsleiterlage 28 übereinanderzuschichten, zum anderen um der Umfangsrichtung des Ständerkörpers zu folgen.. Die gezeigte Biegung der Verbindungsleiter kann beim Einsetzen der Formteile erfolgen. Möglich ist auch, 20 die Formteile bereits mit einer entsprechenden Krümmung zu fertigen oder sie vor dem Einsetzen entsprechend zu biegen. In Fig. 9 ist ebenfalls ersichtlich, daß bei der gezeigten Radialfeldmaschine die Nuten im Ständerkörper vom Nutboden zum Nutkopf radial zusammenlaufen. Der Abstand zwischen zwei Nuten ist also am Nutkopf geringer als am Nutboden. In einer Wicklung, die 25 aus den gezeigten L-Formteilen aufgebaut ist, kann diese Differenz leicht ausgeglichen werden, da der genaue Abstand zwischen zwei durch einen Verbindungsleiter 6a oder 6b verbundenen Nutstäben 8a, 8b nicht festgelegt ist. Vielmehr kann der Laschen-Verbindungsreich 13 eines Nutstabs 8a oder 8b an beliebiger Stelle auf den mit einer ausreichenden Toleranzbreite ausgestalteten Verbindungsreich 16 des Verbindungsleiter 6a oder 6b eines zweiten 30 Formteils aufgelegt und mit diesem verbunden werden.

Anhand der Fig. 10a-c soll nun ein Ausführungsbeispiel des Verfahrens zur Herstellung einer Wicklung genauer erläutert werden. Die Figuren zeigen jeweils eine schematische Draufsicht auf die genutete Seite eines Ständer- oder Läuferkörpers - man denke sich hierbei den Ständer- bzw. Läuferkörper wiederum aufgeschnitten und in eine Ebene abgewickelt. Die Verengung der Nuten am Nutkopf ist hier nicht dargestellt, so daß die in den Nuten zuoberst liegende Wicklungslage voll sichtbar ist. Die Nuten sind jeweils von 1 bis 12 durchnumeriert, da das in diesem Beispiel verwendete Wickelschema sich alle 12 Nuten wiederholt.

Fig. 10a zeigt den Ständer nach Beendigung des ersten Verfahrensschrittes, bei dem in jede zweite Nut 1, 3, 5, 7 usw. von der in der Zeichnung oben liegenden Stirnseite des Ständerkörpers ein Formteil 3 in der Richtung des Pfeils P eingesetzt wurde, und zwar derart, daß alle Verbindungsleiter 6 der Formteile (in der Zeichnung) nach links zeigen. Die Formteile 3 werden in die Nuten in der Reihenfolge von links nach rechts eingesetzt, damit sämtliche freien Enden der Verbindungsleiter 6 auch nach dem Einsetzen aller Formteile 3 dieser Lage noch radial zugänglich sind. Die Formteile 3 in den Nuten 1, 5 und 9 weisen jeweils am freien Ende des Nutstabs eine verlängerte abgeflachte Lasche 26 auf, die zum Verbinden der Wicklung mit einer der (nicht gezeigten) Stromschielen für die Phasen der Stromzuführung geeignet ist. Die Formteile in den Nuten 3, 7 und 11 weisen ebenfalls eine abgeflachte Lasche 26' auf, die in diesem Beispiel kürzer ausgebildet ist als die verlängerten Laschen 26 und auf einer Stromschiene 40 für den Sternpunkt aufliegen.

Nach Einsetzen der Formteile dieser ersten (Teil-)Lage der Wicklung werden in einem zweiten - nicht dargestellten - Verfahrensschritt die abgeflachten Laschen 26' und 26 durch Laserschweißen mit den darunterliegenden Stromschielen verbunden.

Wie in Fig. 10c dargestellt, werden daraufhin von der gegenüberliegenden (in der Zeichnung unten liegenden) Stirnseite in die übriggebliebenen Nuten je ein Formteil 2 in Richtung des Pfeils Q eingesetzt, und zwar derart, daß die Verbindungsleiter 6b der Formteile 2 in der Zeichnung nach rechts zeigen.

Die abgeflachten Laschen 10b am freien Ende der Nutstäbe 8b der Formteile 2 kommen jeweils auf dem freien Ende eines Verbindungsleiters 6 eines Formteils 3 zu liegen. Sind alle Formteile 2 dieser Wicklungslage eingesetzt, werden die abgeflachten Laschen 10b mit den darunterliegenden freien Enden der 5 Formteile 6 laserverschweißt. In der hier dargestellten Ausführungsform der Wicklung weisen die abgeflachten Laschen 10b Schlitze 11 auf, durch die der Laserstrahl beim Verschweißen direkt auf den Verbindungsleiter 6 eines Formteils 3 trifft.

Fig. 10c zeigt den Ständerkörper am Ende des darauffolgenden Verfahrensschritts, in dem von der in der Zeichnung oben liegenden Stirnseite des Ständerkörpers in jede zweite Nut 1, 3, 5, 7, etc. Formteile 1 in Richtung des Pfeils P eingeschoben werden, so daß sie genau über den in Schritt 1 eingesetzten Formteilen 3 zu liegen kommen. Die abgeflachten Laschen 10a der Formteile 1 liegen jeweils auf dem freien Ende eines Verbindungsleiters 6 eines der in Schritt 3 eingesetzten Formteile 2. Nachdem alle Formteile 1 eingesetzt sind, werden die abgeflachten Laschen 10a der Formteile 1 mit den darunterliegenden Verbindungsleitern 6 der Formteile 2 laserverschweißt.

Die in Fig. 10b und 10c dargestellten Verfahrensschritte werden so lange wiederholt, bis die Nuten mit Ausnahme der obersten Wicklungslage mit 20 Nutstäben aufgefüllt sind. Dann wird anstatt des in Fig. 10b gezeigten Schritts, bei dem von der unteren Stirnseite Formteile vom Typ 2 eingesetzt werden, U-förmige Formteile vom Typ 4 eingesetzt, wie in Fig. 11 gezeigt. In der Zeichnung sind noch nicht alle U-Formteile vollständig eingeschoben. Die schraffiert dargestellten U-Formteile 4 weisen jeweils zwei Nutstäbe 8b und 25 8b' auf, die in die Nuten 2 und 8, 4 und 10, 6 und 12 eingesetzt werden. In jeder zweiten Nut liegt also ein Nutstabschenkel eines U-Formteils. Die Verbindungsleiter 7 der U-Formteile sind auf der unten liegenden Stirnseite des Ständerkörpers ebenso schuppenartig übereinandergeschichtet wie die Verbindungsleiter 6 der L-Formteile. Die Verbindungsleiter 7 sind aber jeweils um 30 einen Nutabstand länger ausgebildet als die Verbindungsleiter 6 der L-Formteile. Daher kommen die abgeflachten Laschen 10b der Nutstäbe 8b, 8b'

der U-Formteile jeweils auf den freiliegenden Enden von zu verschiedenen Spulen gehörenden Verbindungsleitern 6a von Formteilen 1 zu liegen und werden in einem letzten Verfahrensschritt mit diesen durch Laserschweißen verbunden.

5 Durch die U-Formteile werden jeweils zwei wendelförmige Spulen in Reihe geschaltet. Dies wird im Folgenden im Zusammenhang mit Fig. 12 näher erläutert. Wie vorstehend erwähnt, zeigt Fig. 12 eine stark schematisierte Darstellung einer Draufsicht auf eine Stirnseite eines bewickelten Ständerkörpers, und zwar die in den Fig. 10 und 11 unten liegende Stirnseite. Fig. 12  
10 zeigt die Rücken der in mehreren Lagen 30 übereinandergeschichteten Verbindungsleiter 6b. Zur besseren Veranschaulichung ist die aktuelle Stromrichtung in einem der Stränge durch Pfeile gekennzeichnet. Der als durchgezogene Linie eingezeichnete Strang U beginnt mit einem Anschluß an eine Stromschiene bei Punkt A. Von dort wird der Strang in einer wendelförmigen Spule  
15 50 über vier Wicklungslagen bzw. vier Verbindungsleiterlagen 30 zum Nutkopf geführt. Die gepunktete Linie stellt einen Verbindungsleiter 6 auf der gegenüberliegenden Stirnseite des Läuferkörpers dar. Mit diesem Verbindungsleiter wird ein U-Formteil verbunden, dessen Verbindungsleiter 7 auf der gezeigten Stirnseite verläuft. Durch das U-Formteil werden zwei gleich aufgebaute Spulen 50 und 52 derart in Reihe geschaltet, daß der Strom durch die beiden Spulen gegensinnig fließt, wie durch die Pfeilrichtungen deutlich wird.  
20 In der wendelförmigen Spule 52 fließt der Strom demnach in dem gezeigten Augenblick vom Nutkopf zum Nutboden, während er in der Spule 50 von Nutboden zum Nutkopf fließt. Bei Punkt B ist der Strang an den Sternpunkt angeschlossen. Auch die beiden anderen, gestrichelt bzw. strichpunktiert gezeichneten Stränge weisen Anschlüsse an die Stromschiienen sowie entsprechende U-Formteile mit Verbindungsleitern 7 auf, die in Fig. 12 nicht eingezeichnet sind.

Fig. 13 zeigt das Wickelschema, nach dem die in den Fig. 1 bis 12 gezeigte Wicklung ausgeführt ist. Es zeigt, wie die einzelnen Spulen in den Nuten des Ständerkörpers verteilt sind, wobei bei dieser Wicklung in jeder Nut

nur eine Spulenseite liegt (Einschichtwicklung). Das Wickelschema wiederholt sich alle 12 Nuten. Die Wicklung ist als Dreiphasenwicklung (Drehstromwicklung) mit zwei Nuten je Pol und Strang (Zwei-Loch-Wicklung) ausgeführt. Daraus ergibt sich eine Polteilung von sechs, d.h. die magnetischen Pole liegen in einem Abstand von sechs Nuten zueinander. In einer Durchmesserwicklung wäre demnach auch die Spulenweite, d.h. der in Nuten ausgedrückte Abstand der beiden Spulenseiten einer Spule, gleich sechs. Bei der in Fig. 13 gezeigten Wicklung ist die Spulenweite aber kleiner als die Polteilung, nämlich gleich fünf, es handelt sich also um eine sog. gesehnte Wicklung. Durch die Sehnung wird hier erreicht, daß an den Stirnseiten des Ständerkörpers maximal die Wickelköpfe von drei Spulen aneinander vorbeigeführt werden. Für die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen der Wicklung bedeutet das, daß eine kompakt Wickelkopfanordnung erreicht wird, wenn die Dicke  $h$  der Verbindungsleiter ein Drittel oder weniger der Dicke  $H$  der Nutstäbe beträgt.

Zwecks Anschaulichkeit ist ein Strang V in Fig. 13 fett hervorgehoben. Die anderen Stränge U, W verlaufen entsprechend. Der Strang V umfaßt zwei in Reihe geschaltete Spulen 50, 52, die hier vereinfacht als geschlossene Ringe dargestellt sind - tatsächlich handelt es sich bei ihnen um Wendel mit z.B. acht Windungen. Die Spule 50 ist elektrisch einerseits mit der Stromschiene 44 für Strang V verbunden und andererseits über ein 6 Nuten überbrückendes Verbindungsstück 7, das z.B. Teil eines U-Formteils sein kann, mit der Spule 52. Diese ist elektrisch mit der mit Y gekennzeichneten Stromschiene für den Sternpunkt 40 verbunden. Die augenblickliche Stromrichtung ist durch Pfeile angegeben. Die beiden Spulen 50, 52 liegen mit ihren einander zugewandten Spulenseiten in benachbarten Nuten, so daß der Strom in den beiden benachbarten Nuten in die gleiche Richtung fließt. Zwischen den Spulenseiten einer Spule 50, 52 liegen jeweils 4 Spulenseiten von Spulen anderer Stränge.

Die Anordnung der Wickelköpfe geht aus dem Wickelschema der Fig. 13 nicht hervor. Werden die Verbindungsleiter jedoch wie vorstehend beschrieben kompakt geschichtet, so verbleiben kaum Zwischenräume in dem

dicht gepackten "Wickelkopfpaket". Die für die Reihenschaltung zweier Spulen benötigten Verbindungsstücke 7 befinden sich deshalb vorteilhaft entweder am Nutkopf oder am Nutboden, also am Rand des Wickelkopfpakets. Besteht die Wicklung im wesentlichen aus wendelförmigen Spulen, (also Spulen, 5 bei denen sich die Verbindungsleiter in Radialrichtung nicht überschneiden), so werden durch ein Verbindungsstück 7 jeweils zwei Spulen 50, 52 derart in Reihe geschaltet, daß zu einem Zeitpunkt in der einen Spule der Strom in Richtung Nutkopf und in der anderen in Richtung Nutboden fließt. Da die beiden Spulen 50, 52 jedoch bei der oben beschriebenen Schichtung der Verbindungsleiter vom Aufbau her identisch sind, werden die beiden Spulen 50 und 10 52 durch das Verbindungsstück 7 so in Reihe geschaltet, daß der Strom durch die beiden Wendeln gegensinnig, also mit entgegengesetztem Drehsinn, fließt. Durch diese Hintereinanderschaltung befinden sich automatisch auch die Anschlüsse der Stränge zu den Stromschienen für die Stromzufuhr 42, 15 44, 46 sowie für den Sternpunkt 40 sämtlich auf einer radialen Seite des Wickelkopfpakets, und zwar auf der anderen Seite wie die Verbindungsstücke. Vorteilhaft sind auf dieser Seite auch die Stromschienen angeordnet.

Alternativ sind jeweils 4 oder eine andere gerade Anzahl von Spulen in Reihe geschaltet, wie in Fig. 14 gezeigt. Das Wickelschema der Fig. 14 20 gleicht dem der Fig. 13, mit dem einzigen Unterschied, daß jeweils zwei Paare in Reihe geschalteter Spulen wiederum durch ein weiteres Verbindungsstück 48 in Reihe geschaltet sind. Die Verbindungsstücke 48 können gleich ausgebildet sein wie die Verbindungsstücke 7; nach einer anderen Ausführungsform bilden sie - wie nachstehend genauer beschrieben - Sektoren einer 25 zusätzlichen Stromschiene.

Fig. 15-20 zeigen Beispiele für kompakte Ausführungen des Stromschienepakets. Die Stromschienen umlaufen den Ständer, so daß entlang der Umfangsrichtung mehrere parallelgeschaltete Spulen oder Spulengruppen an sie angeschlossen werden können. Da durch die der Stromzufuhr dienenden 30 Stromschienen in der Regel ein hoher Strom fließt, weisen die Stromschienen zur Minimierung der ohmschen Verluste einen relativ großen Querschnitt auf

und nehmen daher viel Raum in Anspruch. Um die axiale Ausdehnung des Ständers möglichst klein zu halten, sind die Stromschienen in den gezeigten Beispielen in dem Bereich radial neben den Nutöffnungen an einer Stirnseite eines Ständerkörpers angeordnet. Bei der vorstehend beschriebenen kompakten Wickelkopfanordnung bleibt diese Fläche an den Stirnseiten nämlich ohnehin frei und kann daher platzsparend für die Stromzufuhr genutzt werden. Die gezeigten Stromschienenpakete sind daher insbesondere zum Anschließen der vorstehend beschriebenen Wicklung geeignet, können aber prinzipiell mit jeder beliebigen Wicklung kombiniert werden.

Eine beispielhafte Anordnung der Stromschienen für eine Drehstromwicklung gemäß einer ersten Ausführungsform ist in Fig. 15 gezeigt. Die Stromschienen sind hier, wie gesagt, in Richtung der Nuttiefe unterhalb der Wickelköpfe angeordnet und über Anschlüsse 49 mit der Drehstromquelle verbunden. Die in Fig. 15 dargestellten Stromschienen sind in der Längsrichtung der Nuten, also in Axialrichtung, übereinandergeschichtet, so daß jede einzelne Stromschiene direkt an die radial innen liegenden Wickelköpfe anliegt. Die Verbindungsstellen 60, 62 zum Anschließen der Stränge an die Stromschienen sind daher auf der radialen Innenseite der Stromschienen angeordnet. Die Wicklung kann daher direkt und ohne weitere Verbindungsstücke mit den Stromschienen 40, 42, 44, 46 verbunden, z.B. verschweißt oder verlötet werden, z.B. wenn die Wicklung teilweise aus speziellen Formteilen 3 mit verlängerten Laschen 26 am Nutstabende aufgebaut ist, die bis zu den Verbindungsstellen 60, 62 reichen.

Hierbei muß jedoch gewährleistet sein, daß jede verlängerte Lasche 26 nur eine der Stromschienen 40, 42, 44 oder 46 kontaktiert. Zu diesem Zweck sind die Stromschienen 42, 44, 46 mit einer elektrisch isolierenden Beschichtung versehen, welche an den Verbindungsstellen 62 Fenster aufweist, die derart zueinander versetzt sind, daß jede Lasche 26 maximal ein Fenster kontaktiert. Gemäß einer anderen, in Fig. 15, 17 und 18 gezeigten Variante weisen die Stromringe an den Kontaktstellen 62 Erhöhungen, sog. Schweißbukkel 63 auf, welche radial nach innen ausragen. Wird eine verlängerte Lasche

26 mit einem Schweißbuckel 63 kontaktiert und verschweißt, wird sie somit gleichzeitig auf Abstand von den anderen Stromschienen gehalten. Der Schweißbuckel 63 wird z.B. in die Stromschienen 42, 44, 46 eingeprägt, indem die Stromschienen 42, 44, 46 an den Stellen, wo ein Schweißbuckel 63 entstehen sollen, in Axialrichtung gepreßt werden, so daß sich ein Buckel 63 aus verdrängtem Material auf der radial innen liegenden Seite der Stromschiene bildet. Das herausgedrängte Material kann z.B. die Form einer vorstehenden Fahne haben (siehe Fig. 18).

Die Wicklung ist aber ggf. nicht nur mit den Stromschienen für die Stromzufuhr verbunden, sondern auch mit einer Stromschiene für die Verbindung der drei Stränge, dem sog. Sternpunkt. Alternativ können die Stränge auch im Dreieck geschaltet sein, so daß keine Stromschiene für den Sternpunkt benötigt wird. Da die Ströme in den drei Phasen einer Drehstromquelle jeweils um  $120^\circ$  zueinander phasenverschoben ist, ist die im Sternpunkt fließende Summe dieser Ströme zu jedem Zeitpunkt beinahe gleich null. Die Stromschiene für den Sternpunkt 40 weist daher, um Platz zu sparen, eine geringere Querschnittsfläche auf als die Stromschienen 42, 44, 46 für die Stromzufuhr, und zwar ist sie in Axialrichtung dünner als die übrigen Stromschienen 42, 44, 46. Da die Sternpunkt-Stromschiene 40 im in Fig. 15 gezeigten Beispiel zu dünn ist, daß an der inneren Radialfläche ein Formteil der Wicklung aufgeschweißt werden könnte, weist sie anstatt Schweißbuckeln 63 Laschen 60 auf, die sich in Axialrichtung über die radialen Innenflächen der anderen Stromschienen erstrecken. Auf diese Laschen 60 kann z.B. die verlängerte Lasche 26 eines Formteils 3 aufgeschweißt werden. Zur besseren Anschaulichkeit ist die Stromschiene für den Sternpunkt 40 mit den Laschen 60 in Fig. 16 ohne die anderen Stromschienen dargestellt.

Das in Fig. 15 gezeigte Stromschienenpaket ist zum Anschließen einer Dreiphasenwicklung mit beliebigem Wickelschema geeignet. Das in Fig. 17 gezeigte Stromschienenpaket ist hingegen insbesondere zum Anschließen der Ausführungsform einer Drehstromwicklung mit jeweils vier in Reihe geschalteten Spulen geeignet. Es weist die gleichen Komponenten auf wie das in Fig.

15, insbesondere drei axial geschichtete Stromschienen 42, 44, 46 zum Anschließen der Wicklung an die elektrische Stromzufuhr, welche jeweils als Schweißbuckel 63 ausgebildete Verbindungsstellen 62 aufweisen, sowie eine Stromschiene 40 für den Sternpunkt, welche mit Laschen 60 ausgerüstet ist,  
5 die sich über die radiale Innenfläche zumindest einer der Stromschienen erstrecken. Zusätzlich weist es noch eine weitere Schiene, nämlich eine Sektorstück-Stromschiene 48 auf, welche auf der radial innen liegenden Seite des Stromschienepakets angeordnet ist, wobei die Verbindungsstellen 60 und 62 der übrigen Stromschienen 40, 42, 44, 46 durch entsprechende Ausnehmungen 10 in der Sektorstromschiene 48 zugänglich und mit der Wicklung kontaktierbar sind. Die Sektorstück-Stromschiene 48 ist nicht durchgehend, sondern besteht aus elektrisch voneinander isolierten Sektorstücken. Diese bilden jeweils die im Wickelschema der Fig. 14 mit 48 gekennzeichneten Verbindungsstücke zwischen zwei Paaren von in Reihe geschalteten Spulen. Hierfür 15 werden mit den beiden Enden eines Sektors 48 die verlängerten Laschen 26 von Formteilen 3 der zu verschiedenen Spulenpaaren gehörenden Spulen 52 und 54 verschweißt.

Gemäß einer anderen Ausführungsform sind die Stromschienen nicht axial, sondern radial übereinandergeschichtet, wie in Fig. 19a gezeigt. In dieser Anordnung ist nur eine Stromschiene 46 direkt an die Wickelköpfe angrenzend angeordnet, während die anderen Stromschienen 42, 44 keinen direkten Zugang zur Wicklung haben. Daher sind alle Stromschienen mit Laschen 61 ausgerüstet, welche radial nach innen, ggf. über andere Stromschienen oder über die Wickelköpfe ragen. Zum Anschließen der Wicklung 20 werden diese Laschen 61 z.B. an ihrem Ende nach innen umgebogen und die verlängerte Lasche 26 eines Formteils 3 auf das umgebogene Ende aufgeschweißt. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel kann eine in Sektoren unterteilte Stromschiene 48 radial auf der Innenseite des Stromschienepakets angeordnet werden, oder eine Stromschiene für den Sternpunkt radial auf der 25 Innenseite oder axial über den anderen Stromschienen 42, 44, 46 untergebracht werden. Die Stromschienen können z.B. durch Ausschneiden eines 30

Rings aus einer Platte hergestellt werden. Hierbei fällt jedoch relativ viel Vorschmitt an. Bevorzugt werden die Stromschienen daher durch Biegen aus einem Stab mit geeignetem Querschnitt hergestellt oder aus einzelnen Ringsektoren zusammengesetzt. Fig. 19b zeigt eine solche aus einzelnen Ringsektoren zusammengesetzte Stromschiene 40, 42, 44, 46. Die Sektoren werden bevorzugt durch Preßpassen miteinander verbunden, indem z.B. Fortsätze 47 in entsprechende Ausnehmungen in den Sektorenenden eingepreßt werden. Vorteilhaft werden die Stromschienen derart zu einem Paket zusammengesetzt, daß die Verbindungsstellen zwischen den Sektoren von übereinander liegenden Stromschienen gegeneinander versetzt sind, um die Stabilität des Stromschienepakets zu erhöhen.

Fig. 20 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Wicklung in einem Ständer einer elektrischen Radialfeldmaschine mit einem Stromschienepaket, welches etwa dem in Fig. 19 gezeigten entspricht. Die raumsparende Ausnützung des Platzes auf der Stirnseite des Ständerkörpers 32 wird hier sehr deutlich, ebenso wie die verschränkte Anordnung der Verbindungsleiter 6 überlappender Spulen.

Die in den Ausführungsbeispielen beschriebenen Wicklungen sind mit nur wenigen verschiedenen, einfachen Formteilen herstellbar und zeichnen sich durch eine raumsparende Anordnung der Wickelköpfe aus.

## PATENTANSPRÜCHE

1. Wicklung für eine elektrische Maschine mit einem Ständer und/oder Läufer mit Nuten (34), wobei die Wicklung mehrere überlappende Spulen (50, 52, 50', 52', 50'', 52'') mit wenigstens einer vollständigen Windung umfaßt, die an den Stirnseiten des Ständers bzw. Läufers liegende Verbindungsleiter aufweisen, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsleiter (6) von überlappenden Spulen (50, 52, 52', 50'', 52'') verschränkt und somit in Lagen (28, 30) angeordnet sind.  
5
2. Wicklung für eine elektrische Maschine mit einem Ständer und/oder Läufer (32) mit Nuten (34), insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wicklung zumindest teilweise aus L-förmigen Formteilen (1, 2, 3) aufgebaut ist, wobei jeweils ein Schenkel eines L-förmigen Formteils einen in einer Nut liegenden Nutstab (8a, 8b) und der andere Schenkel einen an einer Stirnseite des Ständers bzw. Läufers liegenden Verbindungsleiter (6a, 6b) bildet.  
10
3. Wicklung für eine elektrische Maschine mit einem Ständer und/oder Läufer mit Nuten (34), insbesondere nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Wicklung mehrere Spulen umfaßt, die aus in den Nuten liegenden Nutstäben (8) und aus an den Stirnseiten des Ständers bzw. Läufers liegenden Verbindungsleitern (6) aufgebaut sind, wobei die Verbindungsleiter (6) flacher als die Nutstäbe (8) ausgebildet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Wicklung als eine gesehnte Mehrphasenwicklung mit 2 Nuten (34) pro Pol und Strang ausgeführt ist.  
15
4. Wicklung für eine elektrische Maschine mit einem Ständer und/oder Läufer mit Nuten (34), insbesondere nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei die Wicklung mehrere Spulen (50, 52, 50', 52', 50'', 52'') umfaßt, die aus in den Nuten liegenden Nutstäben (8) und aus an den Stirnseiten des Ständers bzw. Läufers liegenden Verbindungsleitern (6) aufgebaut  
20

sind, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Spulen (50, 52) in Reihe geschaltet sind, wobei der Strom eine der Spulen (50) in Richtung Nutkopf und die andere Spule (52) in Richtung Nutboden durchfließt.

- 5 5. Wicklung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils zwei hintereinander geschaltete Spulen (50, 52) durch ein U-förmiges Verbindungsstück (4) in Reihe geschaltet sind, welches von zwei Nutstabschenkeln (8b, 8b') und einem Verbindungsleiterabschnitt (7) gebildet wird.
- 10 6. Wicklung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Strom durch zwei hintereinander geschaltete Spulen (50, 52) mit entgegengesetztem Drehsinn fließt.
7. Wicklung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Anfänge (26) der Spulen sämtlich auf der - in Richtung der Nuttiefe - gleichen Seite der Verbindungsleiter (6) angeordnet sind.
- 15 8. Wicklung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsleiter (6) flacher und breiter als die Nutstäbe (8) ausgebildet sind.
9. Wicklung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei überlappenden Spulen (50, 52, 50', 52', 50'', 52'') die Verbindungsleiter (6) um so viel flacher als die Nutstäbe (8) ausgebildet sind, daß die zu einer Lage von Nutstäben (8) gehörende Lage (28, 39) von Verbindungsleitern (6) nicht höher als ein Nutstab (8) ist.
- 20 10. Wicklung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsleiter (6) an den Stirnseiten des Ständers bzw. Läufers jeweils schräg zu der Verbindungsleitung der beiden Nuten

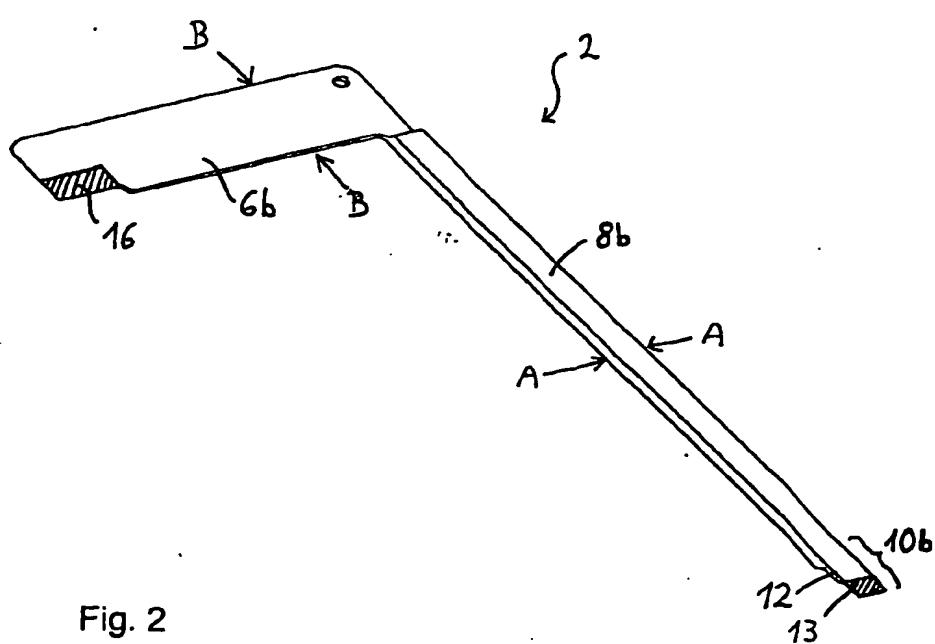
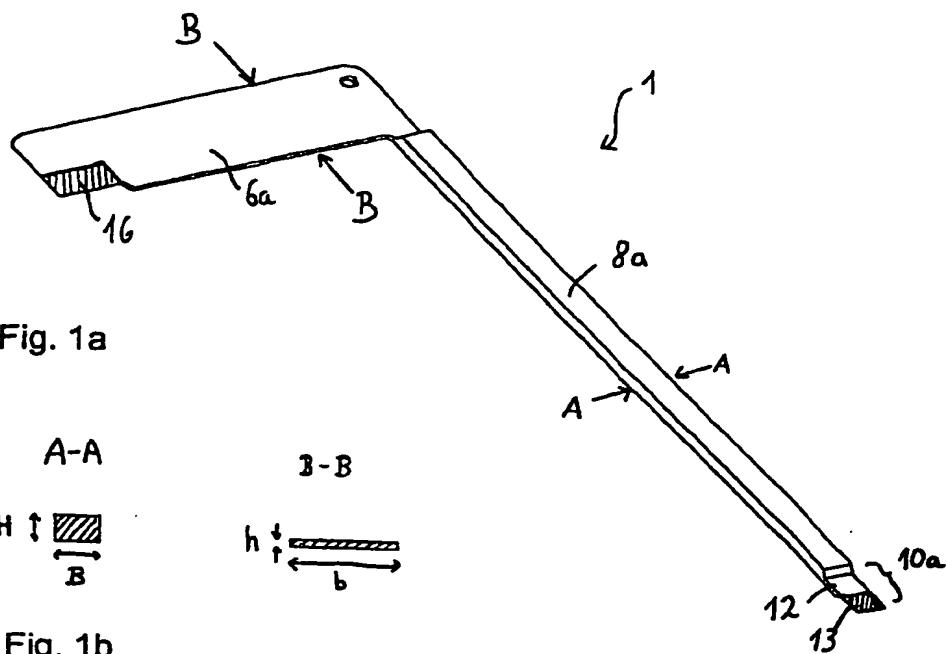
(34), deren Nutstäbe (8) durch die jeweiligen Verbindungsleiter (6) verbunden sind, verlaufen.

11. Wicklung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Spule (50, 52, 50', 52', 50'', 52'') dadurch gebildet ist, daß die auf einer Stirnseite gelegenen Verbindungsleiter (6a) Nutstäbe (8a, 8b) der gleichen Lage verbinden und die auf der anderen Stirnseite gelegenen Verbindungsleiter (6b) Nutstäbe (8a, 8b) aus - in Richtung der Nuttiefe - übereinanderliegenden Lagen.
12. Wicklung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Formteile aus mehreren Schichten aufgebaut sind.
13. Wicklung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die L-förmigen Formteile (1, 2, 3) aus zwei stabförmigen I-Formteilen mit unterschiedlicher Querschnittsform und/oder Querschnittsfläche hergestellt sind.
14. Wicklung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Nutstäbe (8a, 8b) der L-förmigen Formteile an ihrem freien Ende eine abgeflachte Lasche (10a, 10b) aufweisen.
15. Wicklung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsleiter (6a, 6b) der L-förmigen Formteile an ihrem freien Ende eine Verbindungsstelle (16) aufweisen, auf die zum Verbinden mit einem zweiten Formteil die abgeflachte Lasche (10a, 10b) des zweiten Formteils aufsetzbar ist.
16. Wicklung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen einem Nutstab (8) und dem mit diesem verbundenen Verbindungsleiter (6) keine Kröpfung in Richtung der Nuttiefe (8) vorhanden ist.

17. Wicklung nach einem der Ansprüche 3 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Wicklung als dreiphasige Zweilochwicklung mit einer Spulenweite von 5 Nuten ausgeführt ist.
18. Wicklung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere parallelgeschaltete Spulen oder Spulengruppen an einer umlaufenden Stromschiene angeschlossen sind.
19. Verfahren zur Herstellung einer Wicklung nach einem der Ansprüche 1 bis 18 für einen Ständer oder Läufer einer elektrischen Maschine, gekennzeichnet durch mehrmaliges Durchlaufen der folgenden Schritte:
  - (a) Einsetzen von Formteilen (1, 2, 3) in die Nuten des Ständers oder Läufers, bis eine ganze oder ein Teil einer Wicklungslage eingesetzt ist, und (b) Verbinden der in Schritt (a) eingesetzten Formteile mit Stromschienen (42, 22, 46) oder mit in einem vorherigen Durchlauf eingesetzten Formteilen (1, 2, 3).
20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß L-förmige Formteile (1, 2, 3) von den Stirnseiten in die Nuten (34) des Ständers bzw. Läufers (32) eingesetzt werden und zu einer Wicklung verbunden werden, indem jeweils des freie Ende des Nutstabschenkels (8) eines ersten Formteils (1) mit dem Verbindungsleiterschenkel (6) eines von der gegenüberliegenden Stirnseite eingesetzten Formteils (2) verbunden, insbesondere verschweißt, wird.
21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß die in Anspruch 19 genannten Schritte wiederholt werden, bis zumindest einige Nuten bis auf eine Wicklungslage gefüllt sind, und daraufhin in diese Nuten Formteile (4) eingesetzt werden, die zum Verschalten der Spulen (50, 52) geeignet sind.

22. Formteilsatz zur Herstellung einer Wicklung für eine elektrische Maschine, welcher einen Typen eines L-förmigen Formteils oder zwei Typen von L-förmigen Formteilen umfaßt (1, 2), deren Verbindungsleiter-schenkel (6a, 6b) flacher als die Nutstabschenkel (8a, 8b) ausgebildet sind.  
5
23. Formteilsatz nach Anspruch 22 mit zwei Typen von L-förmigen Formteilen, von denen ein Typ dazu ausgebildet ist, eine Verbindung in eine und derselben Wicklungslage zu bilden, während der andere dazu ausgebildet ist, eine Überführung von einer Wicklungslage in die nächste zu bilden.  
10
24. Formteilsatz nach Anspruch 22 oder 23, der zusätzlich einen Typ eines Formteils (4) zur Verbindung von zwei hintereinandergeschalteten Spulen (50, 52) umfaßt.
25. Formteilsatz nach einem der Ansprüche 22 bis 24, der einen weiteren Typ eines Formteils (3) zum Anschluß einer Spule an eine Stromzufüh-rung umfaßt.  
15
26. Wicklung für eine elektrische Maschine, wobei die Wicklung aus nur einem oder zwei Formteiltypen (1, 2) nach Anspruch 22 oder 23 aufgebaut ist und die Wicklung ggf. zusätzlich ein oder zwei weitere Formteiltypen (3, 4) nach Anspruch 24 oder 25 zum Verschalten der Wick-  
lung aufweist.  
20

1/15



2/15

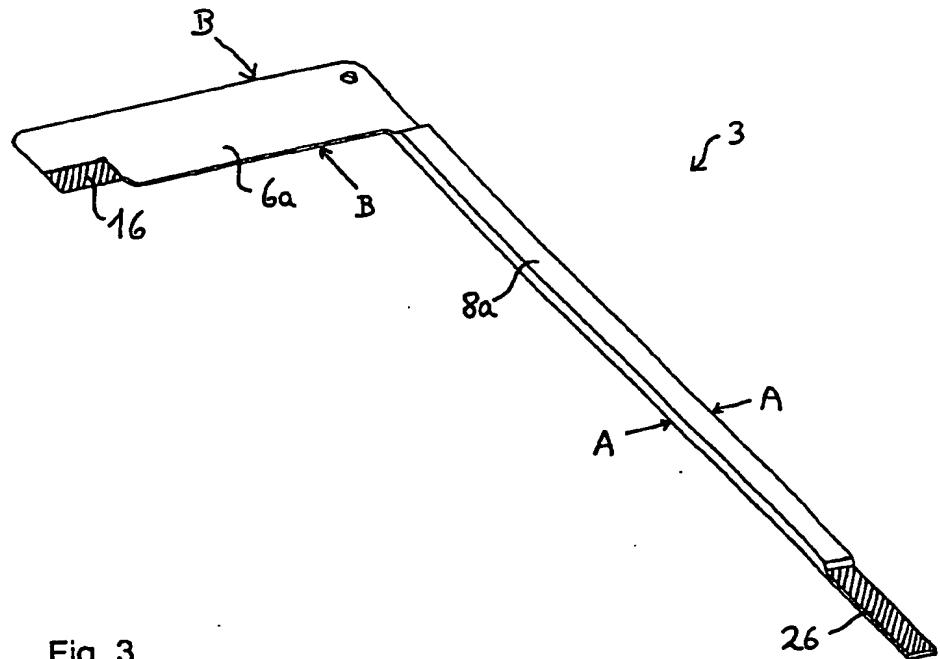


Fig. 3

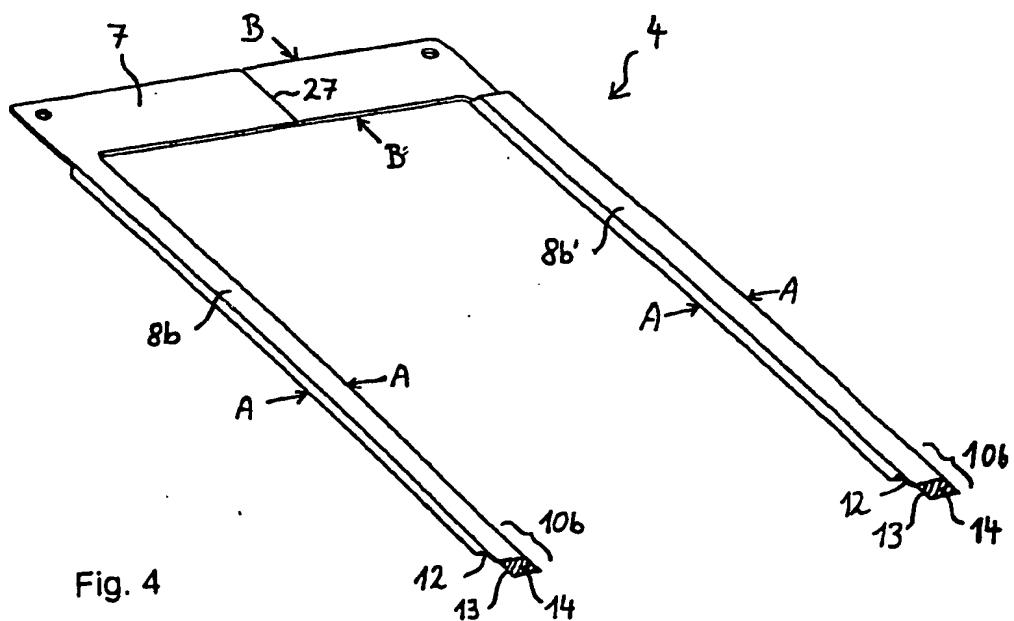
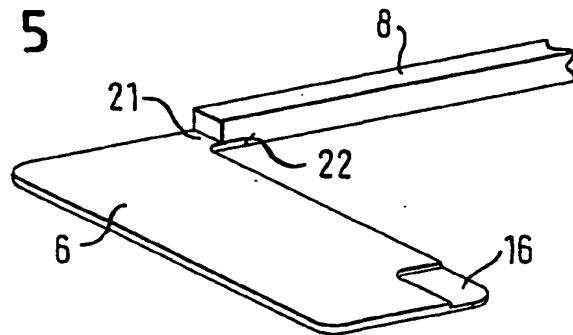


Fig. 4

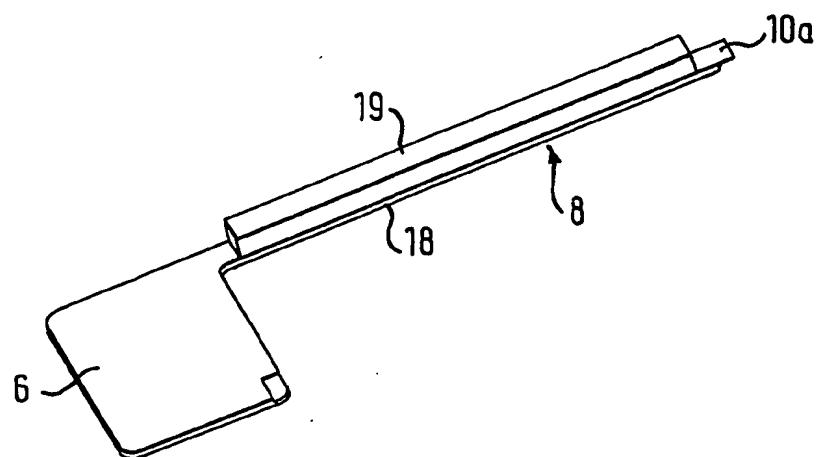
3 / 15

Fig. 5

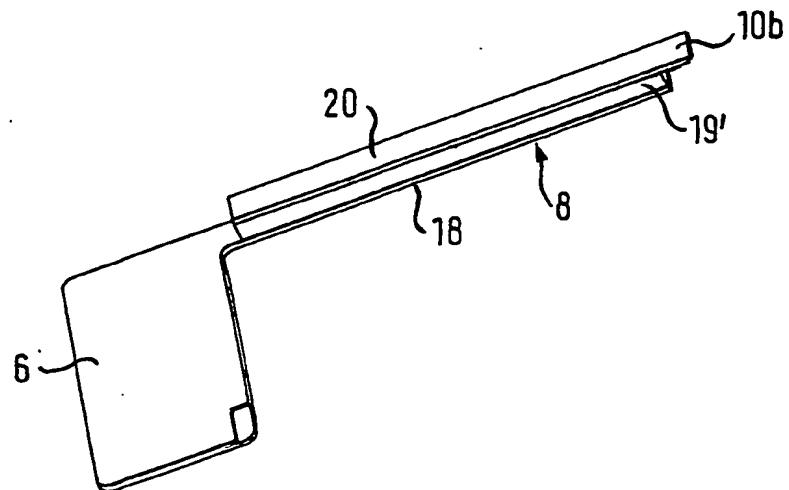
a)



b)



c)



4/15

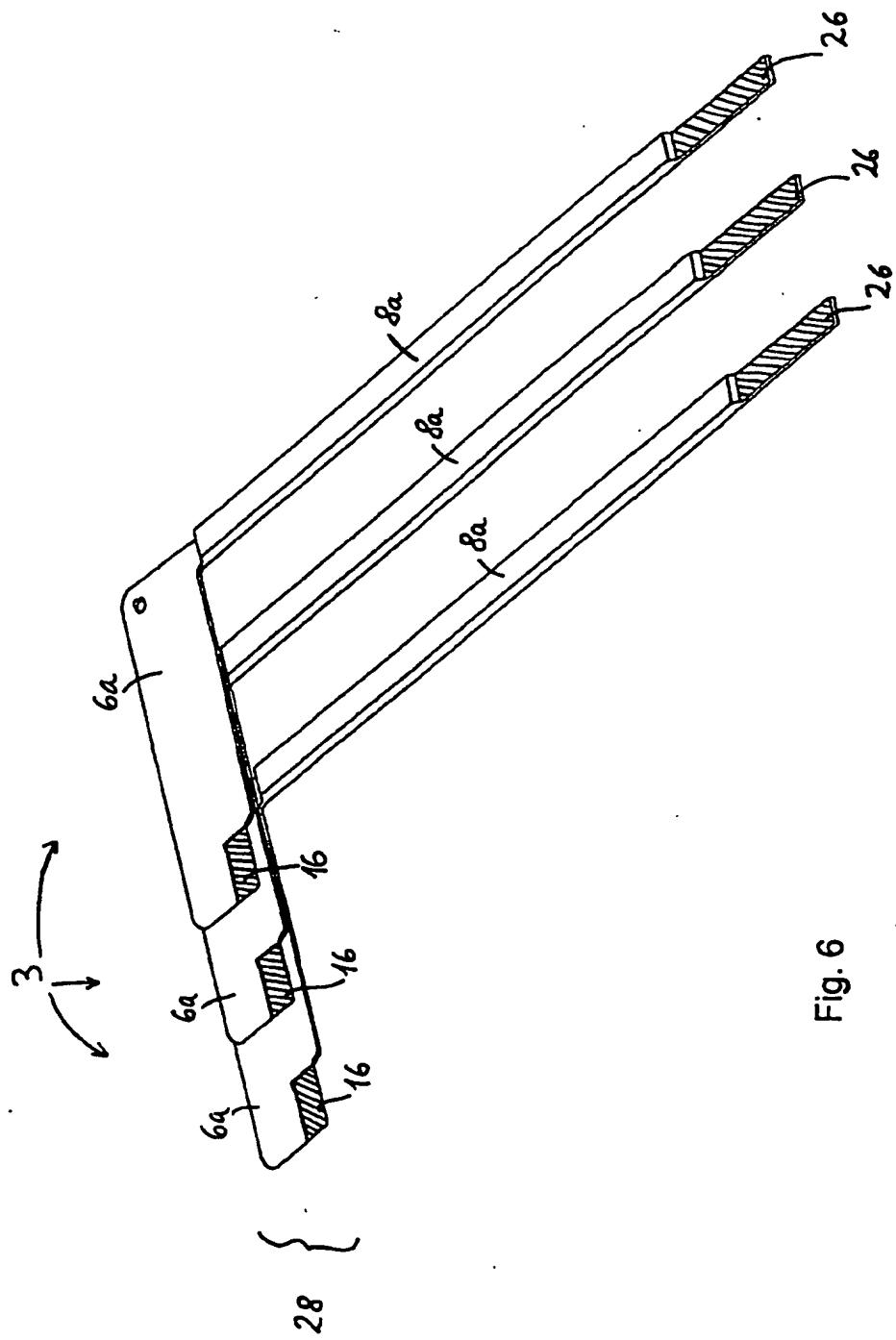


Fig. 6

5/15

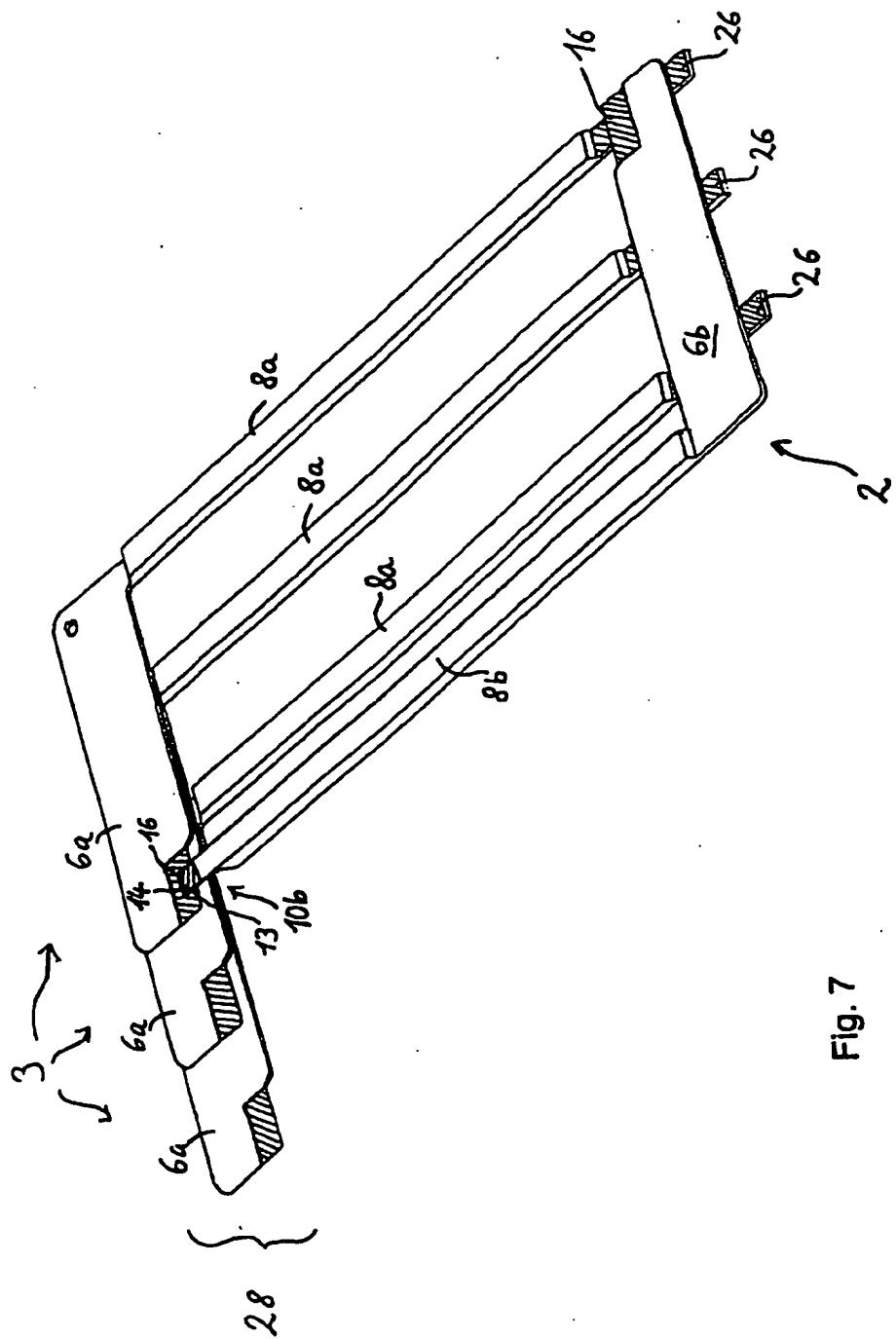
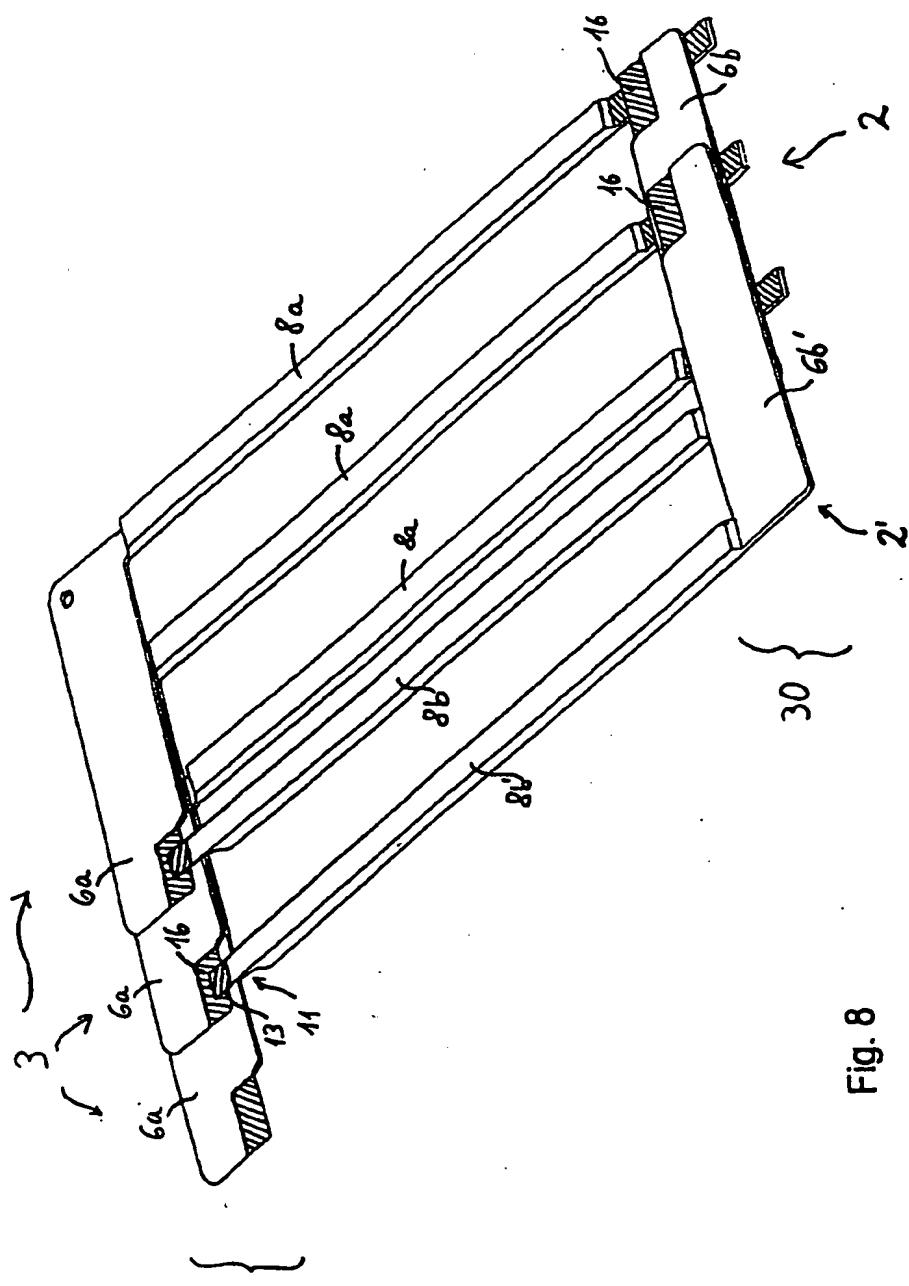


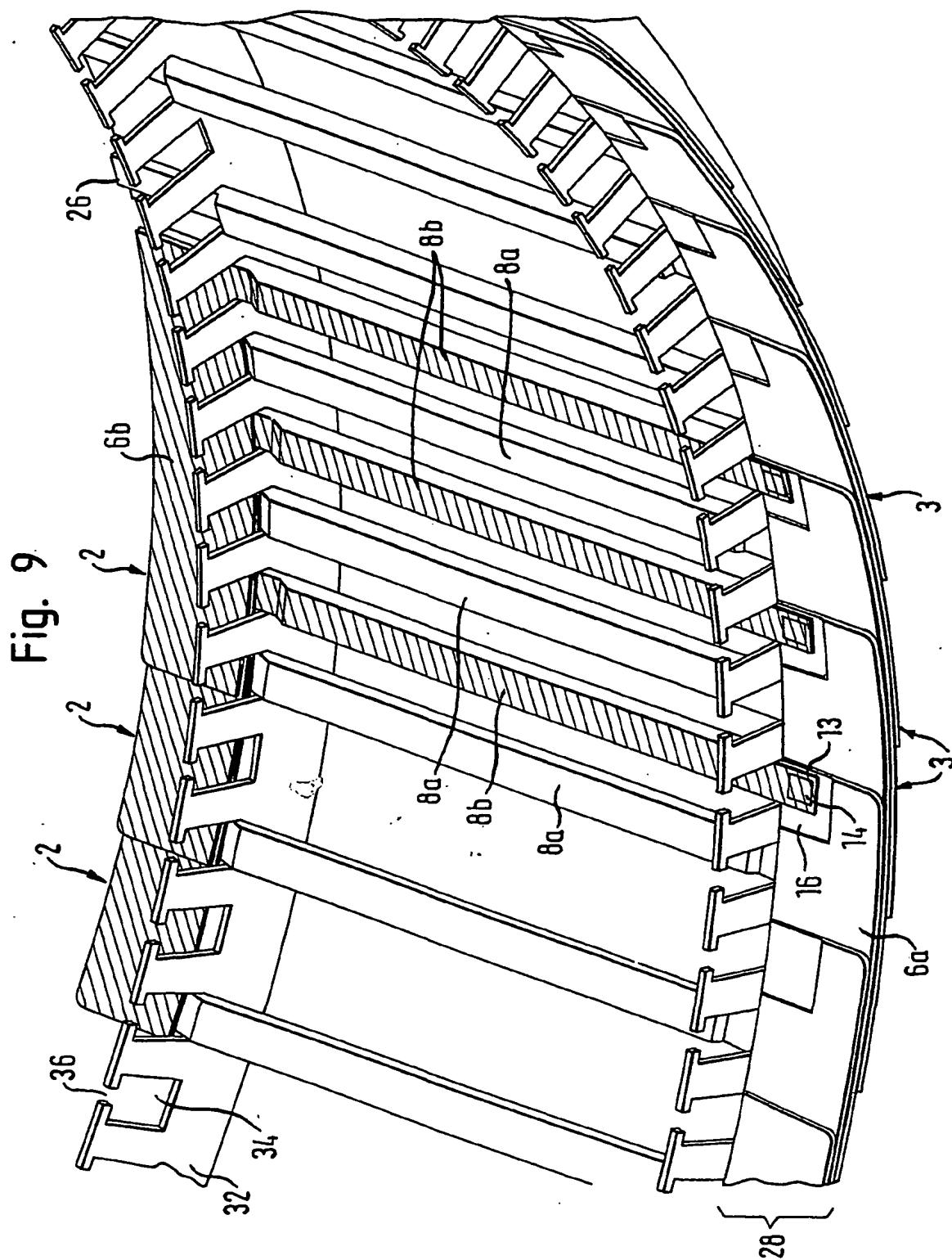
Fig. 7

6/15



28

7/15



ERSATZBLATT (REGEL 26)

8/15

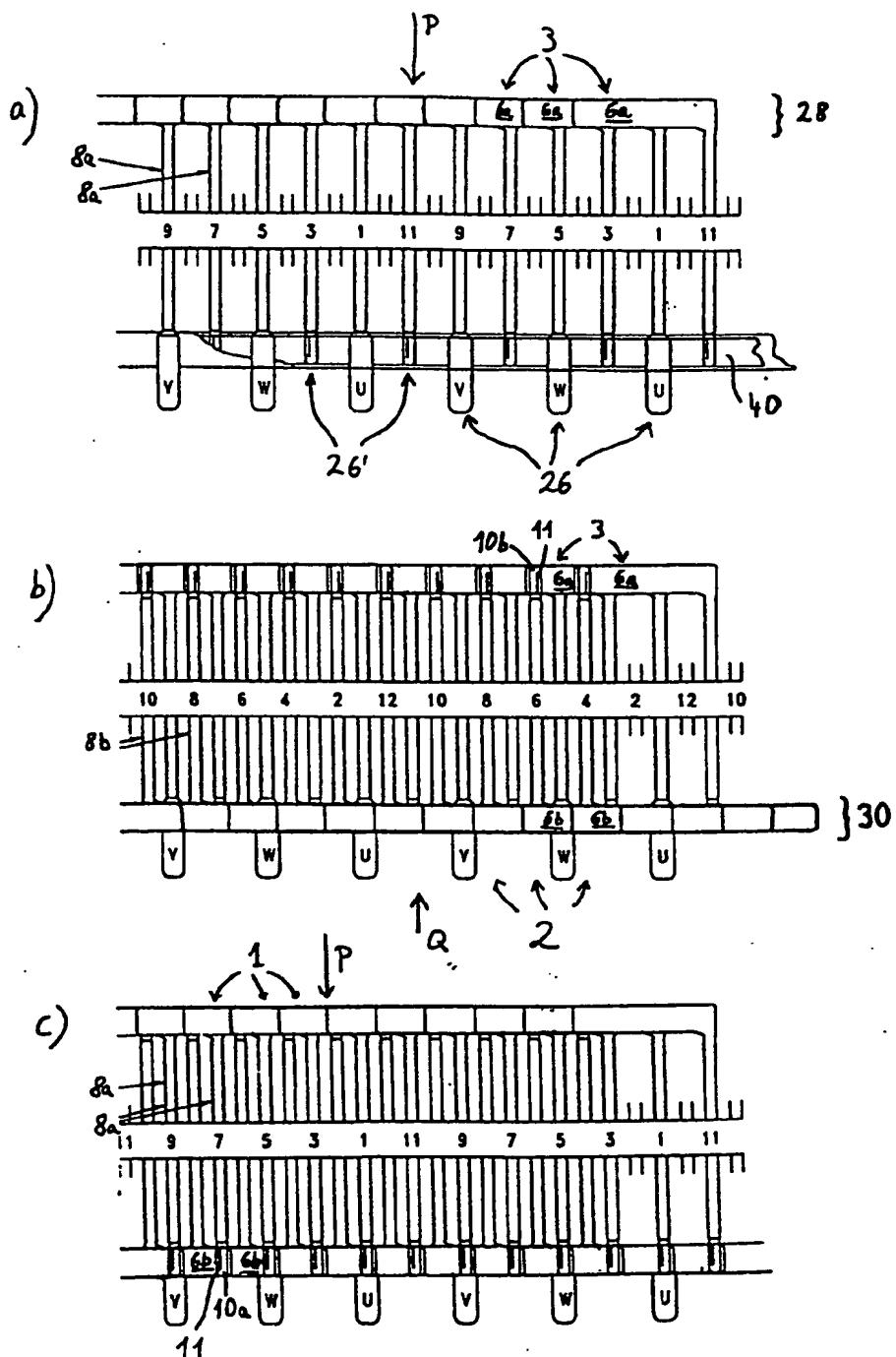


Fig. 10

9/15

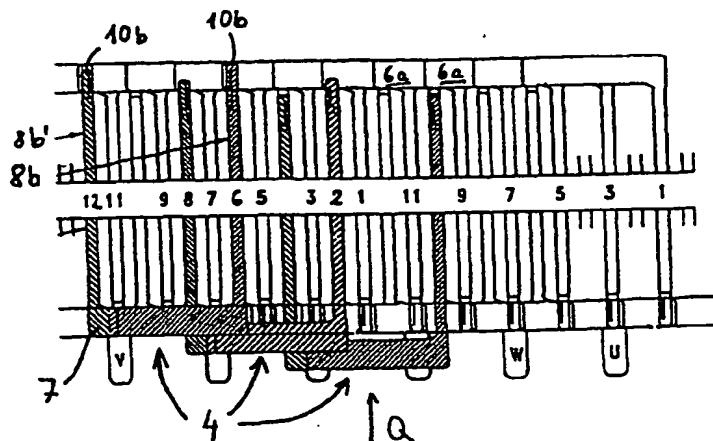


Fig. 11

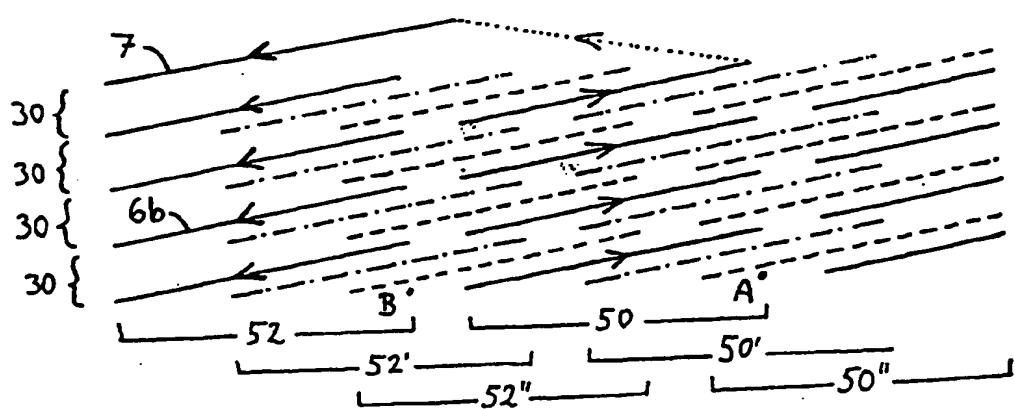
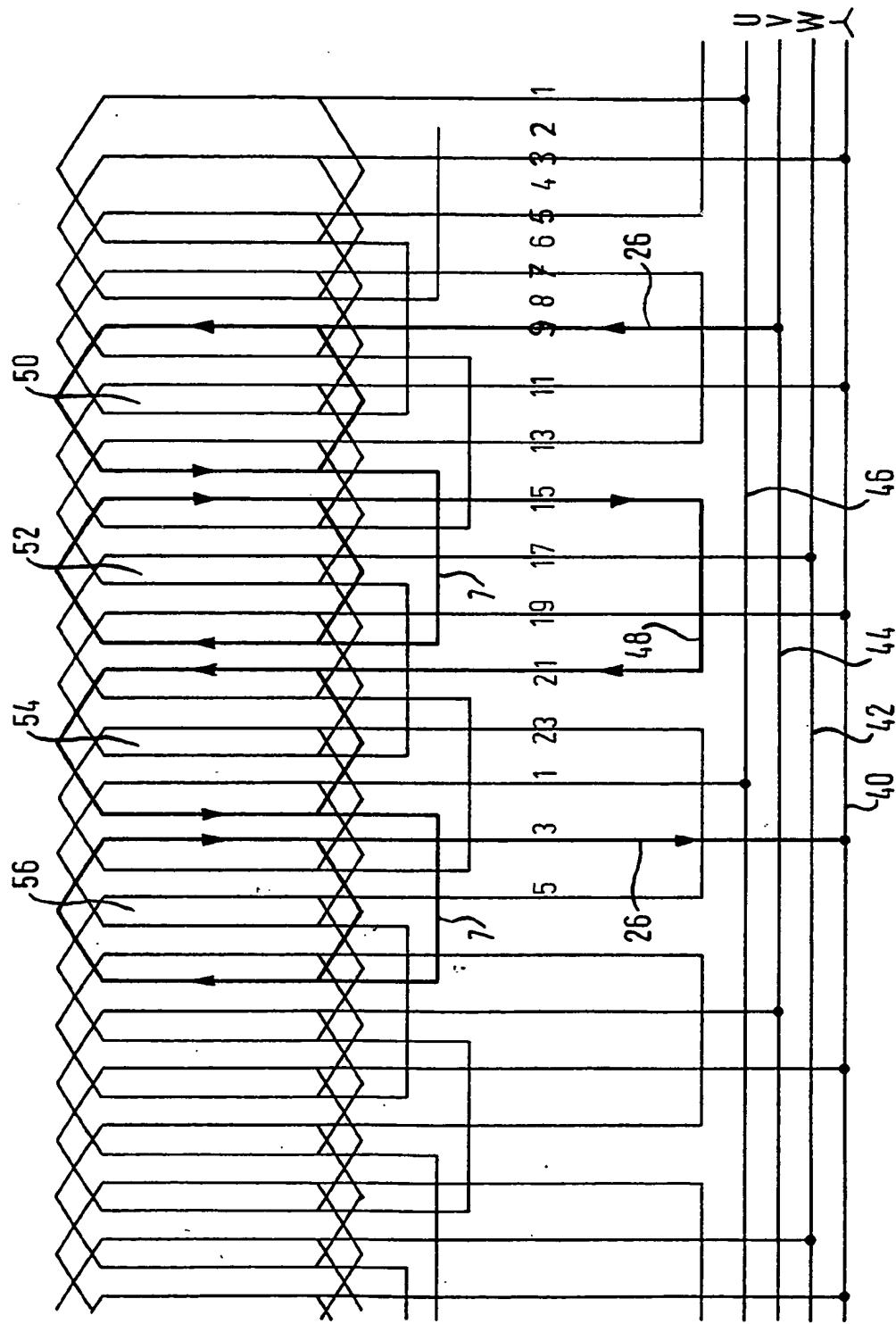


Fig. 12

Fig. 13



11/15

Fig. 14

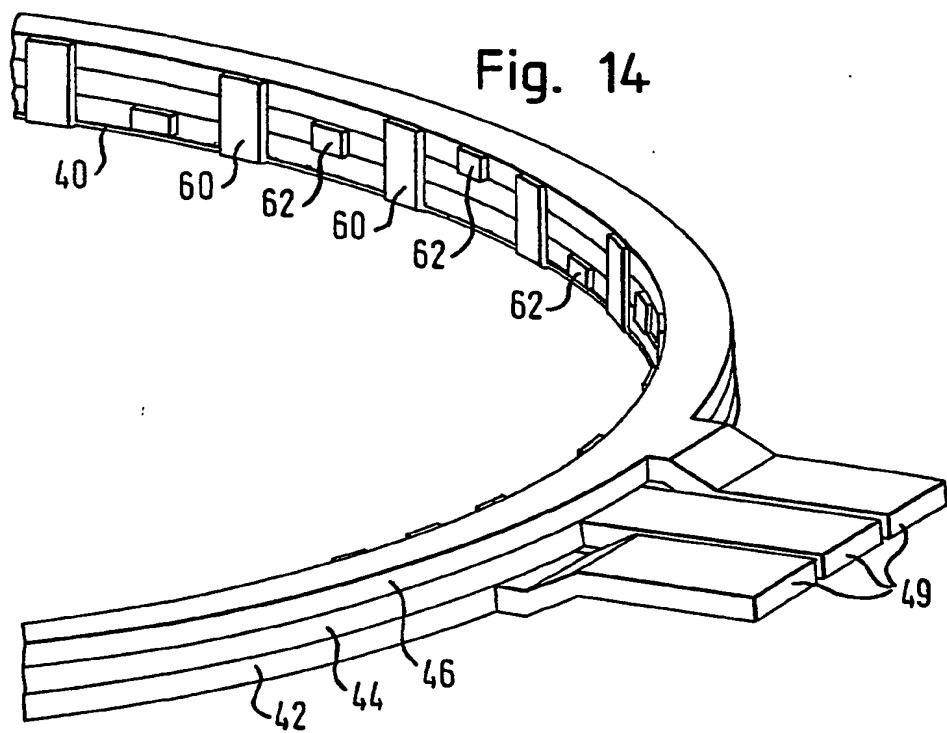
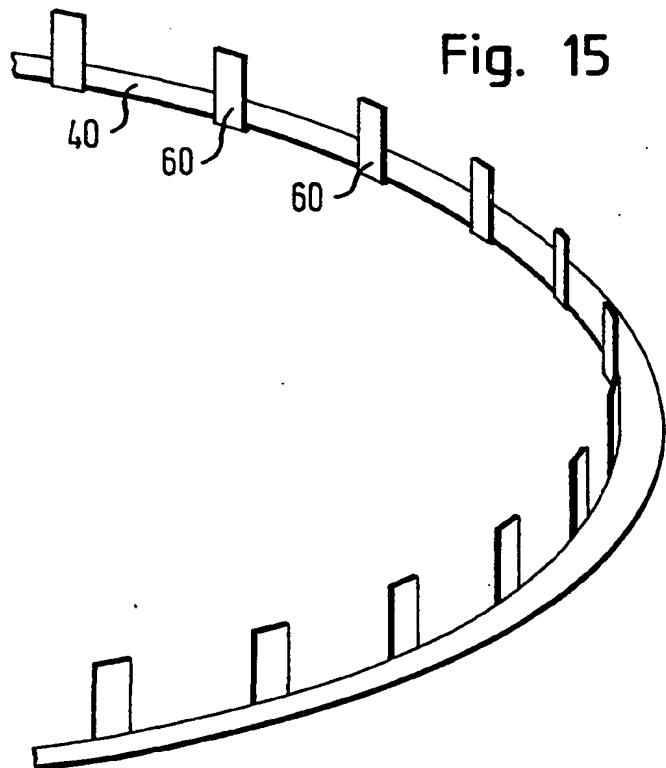


Fig. 15



12 / 15

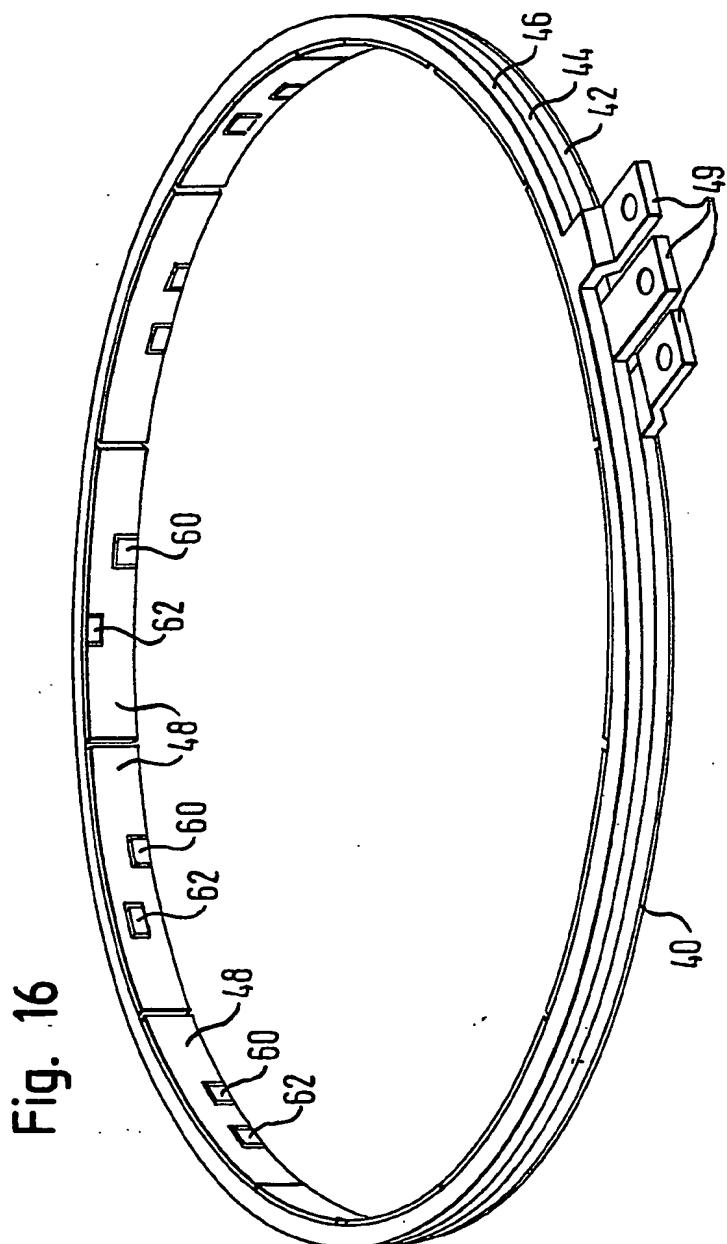
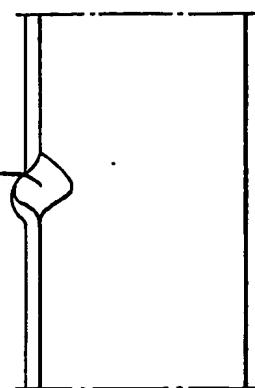


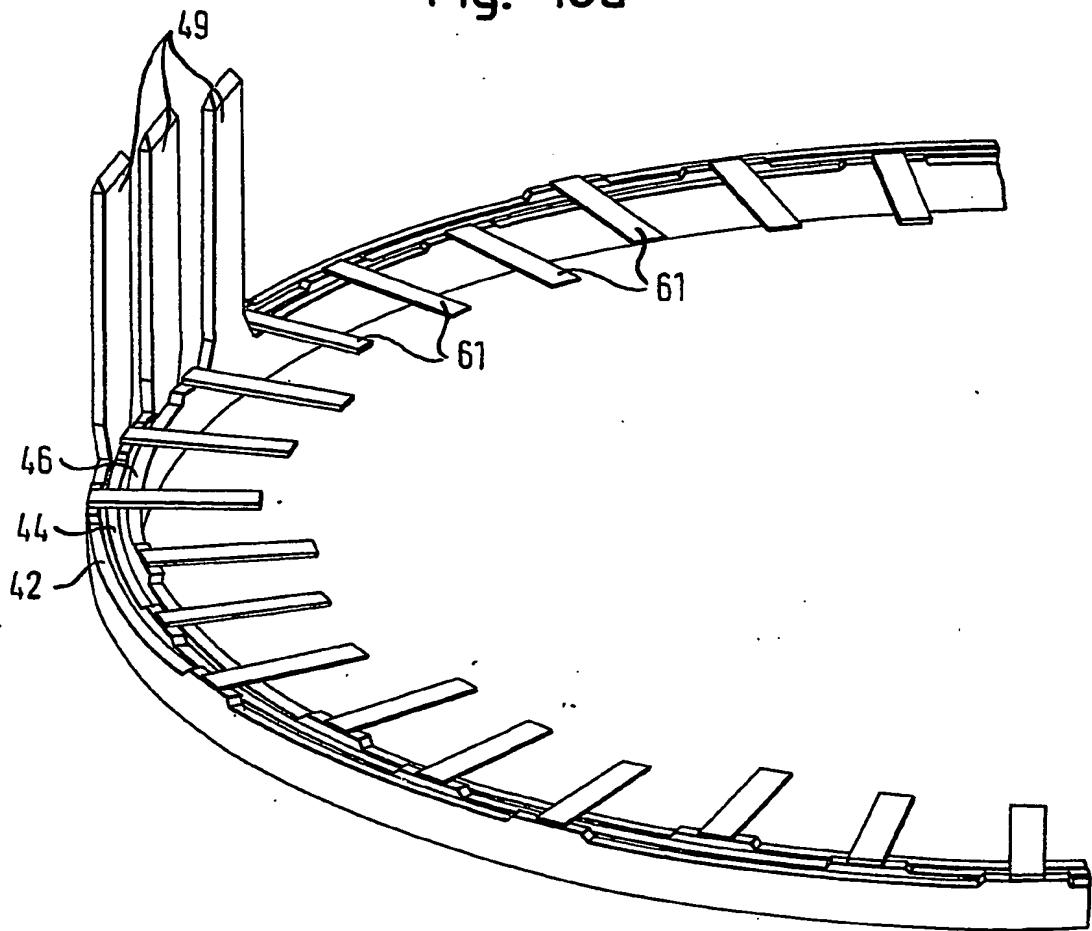
Fig. 16

Fig. 17



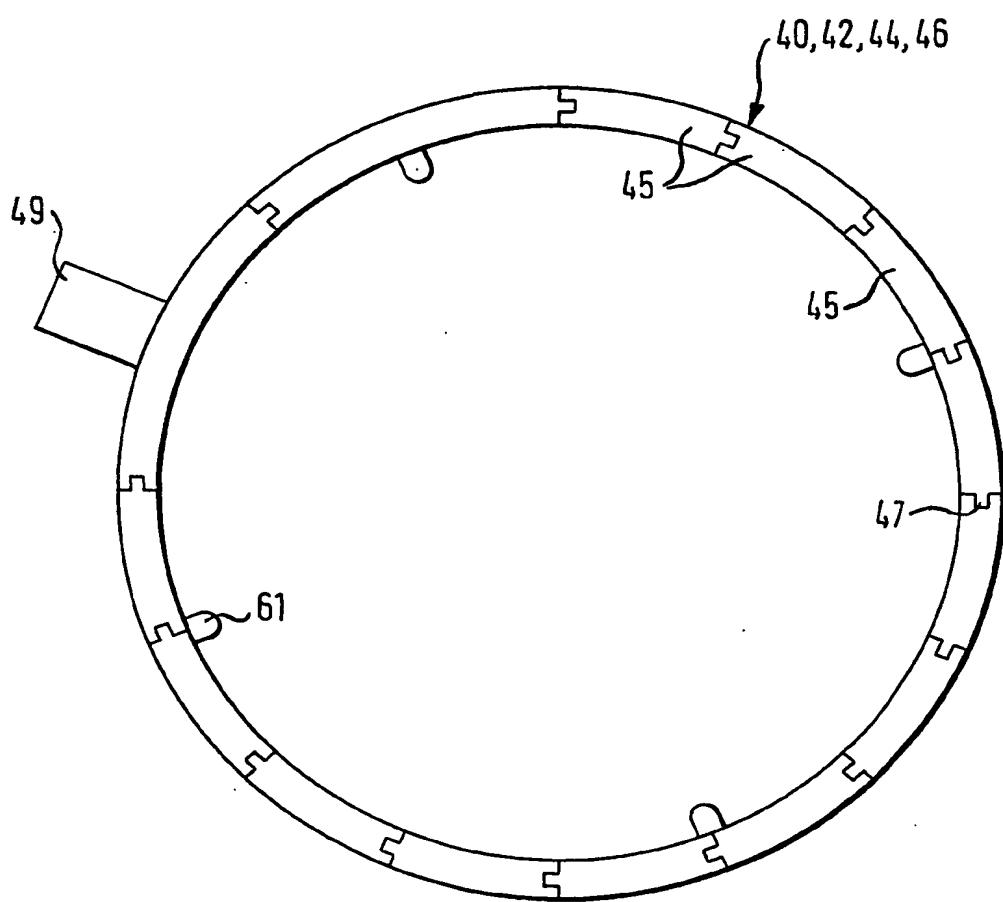
13 / 15

Fig. 18a



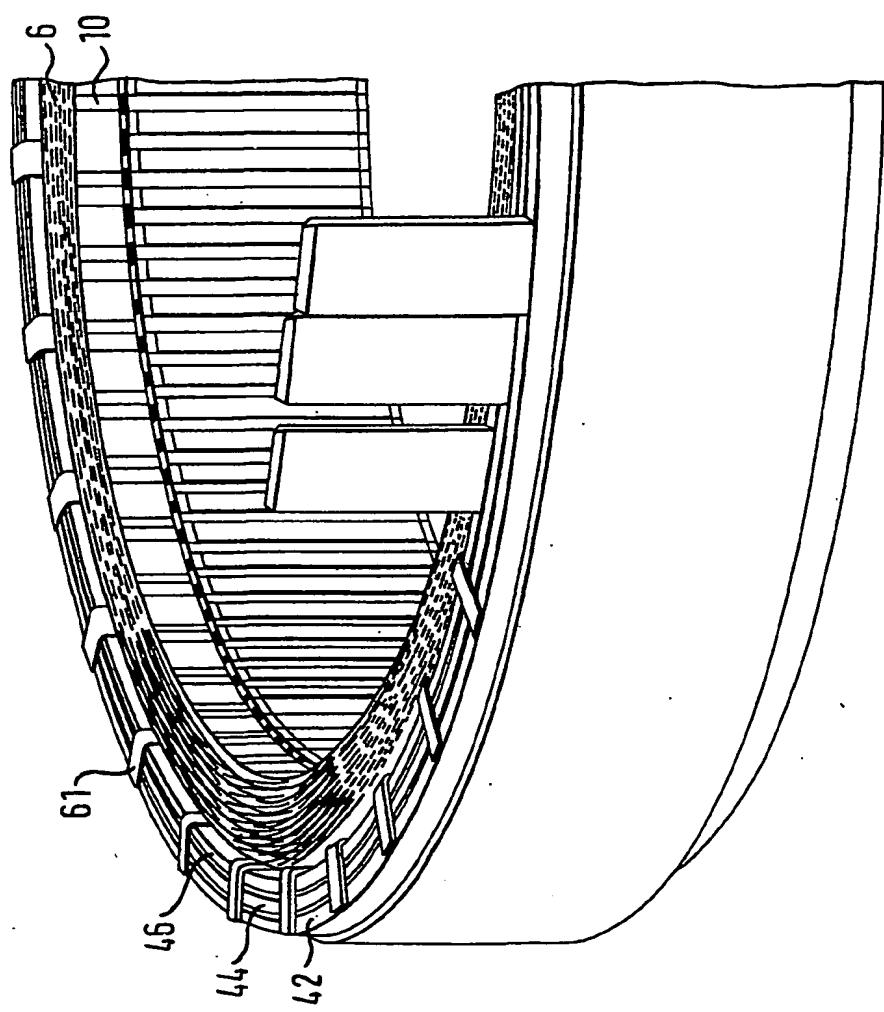
14 / 15

Fig. 18b



15/15

Fig. 19



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int	Application No
PCT/EP 01/06272	

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER			
IPC 7	H02K3/12	H02K3/28	H02K3/50

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 899 850 A (DENSO CORP) 3 March 1999 (1999-03-03)	1,4-8, 10,12, 17, 19-21,26
A	column 10, line 58 -column 14, line 27; claims 1,2; figures 6,11-17 ----	3,13,14, 24
X	DE 42 34 129 A (HILL WOLFGANG) 5 May 1994 (1994-05-05)	1,3,4,7, 11,12, 14, 18-22,26
A	column 14, line 41 -column 16, line 60; claims 1,5; figures 3-8 ----	5,6,8, 24,25
		-/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 August 2001

Date of mailing of the international search report

28/08/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

von Rauch, E

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l Application No  
PCT/EP 01/06272

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 422 526 A (KAWABATA YASUTOMO ET AL) 6 June 1995 (1995-06-06) column 2, line 3 - line 66	1,3,4, 16,19
A	column 4, line 66 -column 5, line 36; claim 1; figures 1,2,5 ---	2,9,13, 17
X	GB 1 329 205 A (MORRIS LTD HERBERT) 5 September 1973 (1973-09-05)	1,8,10, 12,19, 20,26
A	page 1, line 49 - line 80; figures 1-4 ---	3,4,6,9, 11,21
P,X	US 6 208 058 B1 (ASAO YOSHIHITO ET AL) 27 March 2001 (2001-03-27)	1,2,4,6, 7,12,16, 19,21,26
P,A	column 5, line 62 -column 8, line 28; claim 1; figures 1-8 ---	10,17,23

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

Inte J Application No  
PCT/EP 01/06272

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
EP 0899850	A 03-03-1999	JP 2924605 B		26-07-1999
		JP 7115755 A		02-05-1995
		AU 674784 B		09-01-1997
		AU 7576494 A		25-05-1995
		BR 9404112 A		13-06-1995
		CA 2118194 A		16-04-1995
		CN 1114795 A, B		10-01-1996
		DE 69401113 D		23-01-1997
		DE 69401113 T		19-06-1997
		DE 69418897 D		08-07-1999
		DE 69418897 T		16-03-2000
		EP 0649213 A		19-04-1995
		EP 0730335 A		04-09-1996
		ES 2095122 T		01-02-1997
		ES 2132806 T		16-08-1999
		JP 3156474 B		16-04-2001
		JP 7163098 A		23-06-1995
		KR 164249 B		15-04-1999
		US 5508577 A		16-04-1996
		US 5650683 A		22-07-1997
		US 5864193 A		26-01-1999
		JP 3097729 B		10-10-2000
		JP 7231617 A		29-08-1995
		JP 3156532 B		16-04-2001
		JP 7231618 A		29-08-1995
		JP 3064838 B		12-07-2000
		JP 7231619 A		29-08-1995
		JP 8051748 A		20-02-1996
		JP 8140324 A		31-05-1996
DE 4234129	A 05-05-1994	WO 9409547 A		28-04-1994
		EP 0669051 A		30-08-1995
		JP 8504557 T		14-05-1996
		US 5773905 A		30-06-1998
US 5422526	A 06-06-1995	JP 6209535 A		26-07-1994
GB 1329205	A 05-09-1973	NONE		
US 6208058	B 27-03-2001	JP 2001037131 A		09-02-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int.  Aktenzeichen  
PCT/EP 01/06272

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H02K3/12 H02K3/28 H02K3/50

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 H02K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 899 850 A (DENSO CORP) 3. März 1999 (1999-03-03)	1, 4-8, 10, 12, 17, 19-21, 26
A	Spalte 10, Zeile 58 -Spalte 14, Zeile 27; Ansprüche 1,2; Abbildungen 6,11-17	3, 13, 14, 24
X	DE 42 34 129 A (HILL WOLFGANG) 5. Mai 1994 (1994-05-05)	1, 3, 4, 7, 11, 12, 14, 18-22, 26
A	Spalte 14, Zeile 41 -Spalte 16, Zeile 60; Ansprüche 1,5; Abbildungen 3-8	5, 6, 8, 24, 25
		-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- \*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist
- \*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21. August 2001

28/08/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

von Rauch, E

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int	als Aktenzeichen
PCT/EP 01/06272	

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 422 526 A (KAWABATA YASUTOMO ET AL) 6. Juni 1995 (1995-06-06)	1, 3, 4, 16, 19
A	Spalte 2, Zeile 3 - Zeile 66  Spalte 4, Zeile 66 - Spalte 5, Zeile 36; Anspruch 1; Abbildungen 1,2,5 ----	2, 9, 13, 17
X	GB 1 329 205 A (MORRIS LTD HERBERT) 5. September 1973 (1973-09-05)	1, 8, 10, 12, 19, 20, 26
A	Seite 1, Zeile 49 - Zeile 80; Abbildungen 1-4 ----	3, 4, 6, 9, 11, 21
P, X	US 6 208 058 B1 (ASAOKA YOSHIHITO ET AL) 27. März 2001 (2001-03-27)	1, 2, 4, 6, 7, 12, 16, 19, 21, 26
P, A	Spalte 5, Zeile 62 - Spalte 8, Zeile 28; Anspruch 1; Abbildungen 1-8 ----	10, 17, 23

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Inte	als Aktenzeichen
PCT/EP 01/06272	

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0899850	A	03-03-1999		JP 2924605 B		26-07-1999
				JP 7115755 A		02-05-1995
				AU 674784 B		09-01-1997
				AU 7576494 A		25-05-1995
				BR 9404112 A		13-06-1995
				CA 2118194 A		16-04-1995
				CN 1114795 A,B		10-01-1996
				DE 69401113 D		23-01-1997
				DE 69401113 T		19-06-1997
				DE 69418897 D		08-07-1999
				DE 69418897 T		16-03-2000
				EP 0649213 A		19-04-1995
				EP 0730335 A		04-09-1996
				ES 2095122 T		01-02-1997
				ES 2132806 T		16-08-1999
				JP 3156474 B		16-04-2001
				JP 7163098 A		23-06-1995
				KR 164249 B		15-04-1999
				US 5508577 A		16-04-1996
				US 5650683 A		22-07-1997
				US 5864193 A		26-01-1999
				JP 3097729 B		10-10-2000
				JP 7231617 A		29-08-1995
				JP 3156532 B		16-04-2001
				JP 7231618 A		29-08-1995
				JP 3064838 B		12-07-2000
				JP 7231619 A		29-08-1995
				JP 8051748 A		20-02-1996
				JP 8140324 A		31-05-1996
DE 4234129	A	05-05-1994		WO 9409547 A		28-04-1994
				EP 0669051 A		30-08-1995
				JP 8504557 T		14-05-1996
				US 5773905 A		30-06-1998
US 5422526	A	06-06-1995		JP 6209535 A		26-07-1994
GB 1329205	A	05-09-1973		KEINE		
US 6208058	B	27-03-2001		JP 2001037131 A		09-02-2001

## **WINDING FOR AN ELECTRIC MACHINE, AS WELL AS MANUFACTURING METHODS AND SET OF STRUCTURAL PARTS FOR SUCH A WINDING**

5        The invention concerns windings, and in particular winding for an electric machine with a post and/or armature with slots, as well as a manufacturing method and set of structural parts for such windings. The windings involved are so-called multiple layer windings.

10      The posts of electric machines (e.g., asynchronous or synchronous machines in a rotary or linear design, whereby “electric machines” refer both to engines as to generators) are generally equipped with a winding. The power flowing through generates a moving magnetic field causing the armature to move over the air gap between the post and the armature. In many designs, the armatures are also equipped with a winding. The winding is generally incorporated in the 15 slots of a post or armature, usually running parallel or in a small angle to the rotational axis in the case of a radial field machine.

20      The number of phases of the winding of a polyphase alternating current machine generally corresponds with the number of branches, which usually cover several coils with one or more windings. Each coil generally lies with both its so-called “coil sides” in the slots, whereas the so-called end windings connect the sections of the winding located at the front of the post. The coils or serial switches of several coils of a branch are generally connected on one end with a power supply. On the other end, the branches are joined, for example, at the so-called neutral point. Alternatively, the coils could also be delta connected.

25      The coils of different branches are generally placed in an interlace pattern so coil sides of coils from other branches are to be located between both coil sides

of one coil. This is because the coil sides of different branches alternate in consecutive slots or groups of slots in order to produce a magnetic field with a random alternate placement. Therefore, the end windings of the interlaced coils have to go around the face of the post or armature. There are different possible end 5 winding arrangements known for this. In the case of a so-called double or triple deck winding, the end windings of interlaced coils are placed, for example, in different decks in lengthwise direction of the slots. In case of a basket winding, all end windings of a deck connect with another making it look like the edge of a basket. This end winding arrangement is presented, amongst others, on page 331 10 of the publication "Fachkunde Eletrotechnik", Verlag Europa-Lehrmittel,<sup>1</sup> Nourney, Vollmer GmbH & Co., 22<sup>nd</sup> edition 1999. Such end windings are fairly protruding and occupy nearly the entire face of the post.

End windings with wire-wound coils protrude relatively far from the slots because certain minimum bending radiiuses need to be kept. This makes it more 15 difficult to produce a compact end winding arrangement with wire windings. Moreover, wire windings only allow for a relatively low slot-space factor of approx. 40% since the wire generally has a circular cross-section, whereas the slots are usually straight-sided flanked. Spooling a post or slot device with wire-wound coils is rather expensive and hard to automate. For this reason, early 20 suggestions have been made (i.e., in DE-AS-10 06 506) to compose the winding of electric machines of pre-engineered structural parts with a generally rectangular cross-section instead of a wire-wound formation. These pre-engineered structural parts are generally placed one by one in the slots of a post and electrically connected with the coils at the front.

25 "Slot bars" are those sections of the winding going through the slots and forming the coil sides, "connecting lines" are those sections at the face of the post forming the end windings.

The use of structural parts with a suitable cross-section allows for an increase of the space factor of the slots. The problem of the minimum bending

---

<sup>1</sup> Electro-technics Expertise", Europa Lehrmittel Publishers

radii does not exist when the structural parts at the transition between the slot bar and the connecting line are pre-engineered angle-bent, allowing in principle for compact end winding arrangements. The known state-of-the-art structural part windings with interlaced coils generally require a lot of different and often complex structural parts in order to make the interlaced coils of the end windings evade.

DE 197 36 645 A1 suggests for example to assemble the winding for an electric machine with C-shaped structural parts. The winding of a coil is composed of two C-shaped structural parts placed in the corresponding slots in such a way that the open sides face one another, and by connecting the legs of the structural parts at one face. The legs forming the connecting bars are shaped flatter than the sections of the structural parts in the slots (slot bars) in order to make the end winding arrangement as compact as possible. The end windings of interlaced coils evade because the connecting lines are out of line with the direction of the depth of the slot bars, bundling the connecting lines of a coil at a certain height of the slot depth. A connecting part running in the direction of the slot depth between the slot bar and the connecting line creates this offset bend of conduit. Extra space is needed for the connecting parts mounted at the face creating the offset bend. The publication furthermore suggests to make the c-shaped structural parts of sheet metal stampings folded in such a way that there are enough sheet metal layers in the area of the slot bar to achieve the desired ratio between the slot bar thickness and the connecting line thickness.

DE 44 11 749 C2 describes a post winding composed of U-shaped structural parts welded together in the slot area instead of at the face. First, the entire winding is made without a post, which is added afterwards around the finished winding by placing individual segments made of soft magnetic materials inside the winding. For this winding, the connecting lines are also made flatter than the slot bars in order to enable the different branches to evade at the face.

Since the threephase wave winding with one slot per pole and branch shown here only allows for a parallel guiding of a maximum of two branches, the evasion is only possible by placing the connecting lines alternately in an upper or lower layer of connecting lines in the direction of the slot depth. A spiral coil cannot be used  
5 for this construction since the structural parts shown do not allow for switching from one winding position to another. "Winding position" refers to all slot bars of a winding with the same distance to the bottom of the slot.

DE 43 21 236 C1 shows a winding made off S-shaped structural parts, each composed of one slot bar and two connecting line halves, bend towards different  
10 sides. The connecting lines have the same thickness as the slot bars and run in an angle in the width- and lengthwise direction of the slot. This arrangement allows for all connecting line halves of a winding arrangement to be placed at the same distance to the bottom of the slot. In case of numerous interlacing branches, the connecting line halves of the structural parts therefore protrude relatively far from  
15 the slots. The structural parts are placed into the slots of a post viewed from the head of the slot, and then connected with the superimposed ends of connecting line halves belonging to different winding arrangements. This creates a wave winding with several branches, whereby the winding arrangement of each branch switches every time it passes through the end winding.

DE 196 32 390 A1 further develops this winding with relatively inexpensive structural parts by offsetting each connecting line halve by one half of the thickness of the slot bar in the direction of the slot depth, and by connecting them at the end of the slot bar. Even though a branch is still offset by the thickness of one slot bar when running through the connection between two connecting line  
25 halves, the offset of the connecting line to the slot bars compensates this. This

arrangement also shows a wave winding. The structural parts are very complex and therefore expensive to manufacture.

The invention describes different aspects of windings for an electric machine with a post and/or armature with slots:

5 According to a first aspect (claim 1), the winding contains several interlaced coils with at least one complete winding presented at the faces of the connecting lines located at the post or armature. The connecting lines of interlaced coils are staggered and thus arranged in different layers.

10 According to a second aspect (claim 2), the winding is composed at least in part of L-shaped structural parts. One leg of such an L-shaped structural part presents a slot bar arranged in a slot, and the other leg presents a connecting line located at one face side of the post or armature.

15 According to a third aspect (claim 3), the winding includes several coils composed of connecting lines arranged in the slot bars in the slots with connecting lines at the face sides of the post or armature. The connecting line is flatter than the slot bars. The winding is designed as a multiphase fractional pitch winding with two slots per pole and per branch.

20 According to a fourth aspect (claim 4), the winding includes several coils composed of slot bars in the slots and connecting lines at the front of the post or armature. In each case, at least two coils are laid out in a serial switch, whereby the power runs through one of the coils in the direction of the head of the slot heads and the other coil in the direction of the bottom of the slot.

25 According to another aspect, the invention targets a production method for such a winding. The following steps are repeated several times: (a) The installation of structural parts in the slots of the post or armature until a complete winding arrangement or part of a winding arrangement is used, and (b) the connection of the structural parts installed in step (a) with conductor rails or structural parts used in a previous passage.

According to yet another aspect, the invention is aimed at a set of structural parts for the manufacturing of a winding for an electric machine. This set of structural parts includes one type of an L-shaped structural part or two types of L-shaped structural parts with connecting line legs flatter than the legs of the slot bar. The set of structural parts preferably includes two types of L-shaped structural parts, from which one type is designed to create a connection in one and the same winding arrangement, whereas the other one is designed to create a transition from one winding arrangement into the next.

Finally, the invention is also aimed at a winding for an electric machine, whereby the winding consists of only one or two types of structural parts. Moreover, the winding possibly has one or two more types of structural parts for the purpose of creating a circuit for the winding.

The invention is clarified below with preferred design examples and the attached sample drawing. The drawing shows:

- 15      Fig. 1a    An exploded view of a first type of L-shaped structural part;
- Fig. 1b    Sections along lines A-A and B-B in fig. 1;
- Fig. 2      An exploded view of a second type of L-shaped structural part;
- Fig. 3      An exploded view of another type of L-shaped structural part;
- 20      Fig. 4      An exploded view of yet another U-shaped structural part;
- Fig. 5a-c    An exploded view of L-shaped structural parts assembled in different ways;
- Fig. 6      An exploded view of an arrangement of several L-shaped structural parts;
- 25      Fig. 7      The same view as in fig. 6 but with an additional L-shaped structural part;

5 Fig. 8 The same view as in fig. 7 but with an additional L-shaped structural part;

10 Fig. 9 An exploded view of a post or armature section of an electric machine with slots in which L-shaped structural parts have been placed;

15 Fig. 10a-c Diagrammatic top views of the slots of the post or armature at different points in time during the production of the winding;

20 Fig. 11 A diagrammatic top view of the slots of a post or armature with U-shaped structural parts;

25 Fig. 12 A diagrammatic view of the face of a spooled post;

Fig. 13 A winding arrangement of a threephase winding following a first design sample;

Fig. 14 A winding arrangement of a threephase winding following a second design sample;

Fig. 15 An exploded view of a first design of a conductor rail set;

Fig. 16 An exploded view of the conductor rail for the neutral point of fig. 15;

Fig. 17 An exploded view of another design of the conductor rail set according to the invention;

Fig. 18 A diagrammatic cross section of a joint of a conductor rail;

Fig. 19a An exploded view of another design of a conductor rail set;

Fig. 19b A diagrammatic top view of a conductor rail;

Fig. 20 An exploded view of a section of a post completely equipped with a winding and a conductor rail set.

Those parts in the drawings with the same or similar functions are in part marked with the same reference signs.

5 The following clarification of the preferred designs using post windings has been added for the purpose of simplification; this statement equally applies to the corresponding armature windings. Fig. 9-11, for example, show equal views of a post (in the case of fig. 9, it is an interior armature device) as well as an armature (in the case of fig. 9, it is an exterior armature device).

Fig. 1 shows a first type of structural parts. Before clarifying this figure, here are some remarks concerning the preferred designs.

10 The preferred designs apply to windings for the post of a radial field device with an interior armature. Therefore the lengthwise direction of the slot has been designed as the axial direction, and the direction of the depth of the slot as the radial direction. However, the windings described can also be used for exterior armature and linear devices; furthermore, they can be used as armature windings.  
15 An axial field device can also be equipped with an appropriate winding provided the connecting lines have been adapted to the different cylinder jacket shapes of the faces.

20 The post shown in the figures consists of a post body in the form of a stack of slotted sheet metal in order to incorporate the slot bars of the winding for guiding the magnetic flow. The unslotted part creates the so-called backside. The "faces" refer to the sides of the post body where the slots are cut crosswise. In the case of the radial field devices shown, these are the axial foreparts of the post body.

25 The term "conductor rails" refers to the current conductor connecting the winding with the power supply. The multiphase windings described generally use a number of phases equal to the number of conductor rails used for the power supply and – in case of a star connection – a conductor rail for the neutral point, the connecting point of the phase branches of the winding. The conductor rails

do not apply when the branches are delta connected. Several conductor rails are placed next to one another to create a conductor rail set.

5 The aspects of the described designs clarified individually below are usually presented in the drawings in combination with one another, even though each aspect can also be realized individually in a winding.

10 One aspect of the designs described consists of composing the winding at least in part with L-shaped structural parts (L-structural parts), whereby one leg of the L-structural part creates a slot bar and the other leg a connecting line basically running in the direction of the pitch and vertically to the first leg. Connecting the bare end of the slot bar of one structural part with the bare end of the connecting line of another structural part creates a connected winding, and using the preferred 15 designs creates a winding composed of spiral coils. In this case, two L-structural parts connected with one another form one winding of a coil.

15 The diameter of the slot bars is determined by the diameter of the slot, e.g., rectangular slots will have a rectangular diameter whereby the width basically corresponds with the width of the slot. Consequently, several slot bars are placed on top of one another in one slot. The diameter of the connecting lines, for instance, may also be rectangular. They are, however, favorably flatter than the slot bars, enabling the connecting lines of the coils to be interlaced next to one 20 another in radial layers, for example.

The connection between the bare end of a slot bar (slot bar end) and the bare end of a connecting line preferably consists of a flattened joint bar placed in the connecting area of the slot bar end at the connecting line end and weld them together.

The connecting area has preferably been flattened to the extent that the combined thickness of the joint bar and the connecting line does not exceed that of the connecting lines in the other areas.

In other designs (not shown here), the slot bars and the connecting lines of different structural parts are not connected with joint bars, but with a differently shaped extension of the slot bar attached to the corresponding place or in a corresponding recess at the connecting line. The structural parts are, for example, welded or soldered at the joints, or connected mechanically with clamping joints or sockets and then welded or soldered, if need be.

According to another aspect of the described design, the entire winding requires only few structural parts. One design only requires two different types of L-structural parts, apart from a possible circuit connection for the coils, whereby the connecting line legs must be flatter than the slot bar legs. A first design has been styled to create a connection in one and the same winding location, whereas another design has been styled to create a transition from one winding location into the next. A preferred design has a flattened joint bar at the end of each slot bar leg, whereby the flattened joint bar and the flatter leg of one type of an L-shaped structural part are both located at the level of the top of the slot bar leg. In case of the other type of L-shaped structural part, the flattened joint bar is located at the level of the bottom of the slot bar leg. In this case, a type 1 structural part represents one half of a coil winding. A type 2 structural part completes the winding, whereby the connecting line of this structural part takes the winding to

the next winding arrangement. Alternating structural parts of type 1 and type 2 creates a spiral-like coil.

Another design requires only one structural part to build the winding. In this case, coils could be assembled of L-structural parts of type 2 only, for example, provided the slots are large enough to allow a sufficient air flow in the direction of the depth of the slot for the connecting lines between the structural parts. Another option is to place every other slot in a radial position to the other slots in order to allow for a winding with L-structural parts of a certain type.

If need be, other types of structural parts may be used to create a circuit for this type of winding. If necessary, an additional structural part connecting two coils connected in series could be provided, for example. This structural part is preferably L-shaped and composed of two slot bar legs and one connecting line section, and is flatter than the slot bar leg. If need be, another structural part is used to connect a coil with a power supply. In certain designs, this is another type of L-shaped structural part with connecting line legs flatter than those of the slot bar and an extended flattened joint bar at the end of the slot bar leg in order to create a connection with a conductor rail. In other designs, these joint bars are located at the conductor rails allowing the use of a standard type 1 or 2 structural part to connect the winding.

In the preferred manufacturing method, L-structural parts are placed in the slots of the post on axial of the faces. This offers the advantage that the slots can be narrowed at the head with pole shoes, thus making the effective air gap smaller. Once the structural parts have been put in place, they are all connected at the individual slot bar ends with the connecting line leg of the face of the opposing structural part.

In the described method, the structural parts are placed in layers and connected with one another. For this, the winding arrangement is put in place first and the other winding arrangements follow radially from the outside to the inside. The flattened joint bars of the slot bars are placed from above, i.e., radially from the inside onto the corresponding connecting places enabling to reach the connecting areas for welding (e.g., with a laser beam). Of course, the winding can also be mounted in the reverse direction, i.e., from the inside to the outside. In this case, the connecting places are welded radially from the outside.

In the detail, step a shows how one slot bar leg of an L-shaped structural part is placed in several slots, e.g., every other slot, at the face of the post. The slot bars of the structural parts can possibly end up in the same winding position. In step (b), the structural parts' (see step a) slot bar ends which have not been covered yet by other structural parts, are connected at the opposing second face with the connecting line legs of the previously installed structural parts or conductor rails. The slots remaining from step (a) are now all filled at the second face (step c) with a slot bar leg of an L-structural part, covering the joints created in step b. In step (d), the slot bar ends of the structural parts installed in step (c) are connected at the first face with the connecting bar legs of the underlying structural parts. These steps are repeated until the slots are filled completely or almost completely all the way up to the slot head with slot bars. If necessary, structural parts with geometric characteristics suitable for creating a circuit in the winding are installed next. U-shaped structural parts are used through which two spiral-shaped coils are connected in series, or one connecting piece connecting the winding to a conductor rail, for example.

According to another aspect of the preferred design, the connecting lines of interlaced coils are twisted in each other with at least one entire winding. In this case, the connecting lines are placed in layers and preferably flatter than the slot

bars, e.g., so flat that the connecting lines of the different interlaced coils belonging to one winding arrangement do not exceed the thickness of one slot bar. By placing several such layers of twisted connecting lines on top of one another, the coils can be composed of any number of windings. The connecting lines of the 5 winding according to DE 197 36 645 A1 are also flatter than the slot bars. In this case however, the connecting lines of interlaced coils are not placed in a staggered way at the faces, but bunched together with the end winding. In order to be able to reach the individual bunches, each connecting line is placed (crimped) offset across from the slot bar connected in the direction of the slot depth. This presents 10 disadvantages (several different structural parts, space required for the placement). In case of a twisted placement of the connecting lines, it is no longer necessary to offset the connecting line across from the slot bars, thus decreasing the space needed for the end windings.

In order to let the flattened connecting lines of interlaced coils in a twisted 15 arrangement run by without crimping, the faces of the post are placed, for example, at a slant angle with the connecting line between both slots from which the slot bars connect them. The connecting line refers to the vertical line on the median of the section of the post defined by both slots. Consequently, the connecting line runs in a different direction for each pair of slots. The slant 20 commutation layers the connecting lines of a winding in a scaled pattern on top of one another.

The examples describe a winding composed of staggered connection lines in L-shaped structural parts. In other designs (not shown here), such a winding is, for example, composed of separate slot bars and connecting lines (I-structural 25 parts), C- or U-shaped structural parts, or composed of structural parts covering a complete winding at the time of the placement (O-structural parts).

In order to make the winding at the faces as compact as possible, a winding pattern with the fewest possible end windings in an interlaced pattern next to one another was found to be favorable. A simple example of this would be a rotary winding with one slot per pole and branch (one-slot winding): In this 5 design, each of the faces has only two end windings in an interlaced pattern. This is different in case of windings with several slots per pole and branch (multi-slot windings), for example, which are used to create a more favorable field in comparison with one-slot windings and are better adjusted to an alternate design. The winding pattern for a rotary current two-slot winding shown on page 331 of 10 "Fachkunde Elektrotechnik", for example, shows each four interlaced end windings at each of the faces. Even a compact staggering of the connecting lines would result in a further protrusion of the end windings. This is because the connecting lines used would generally have to be made wider in order to make up for their low thickness (factor 4) in order to have approximately the same cross- 15 sectional area of the line as the slot bars.

The described designs have a fractional pitch winding enabling a reduction of the number of end windings running by one another in multi-slot windings. The coil width of a fractional pitch winding is smaller than the pole pitch. "Pole pitch" refers to the distance expressed in the slots between two magnetic poles. The slot 20 width indicates how many slots have to be between the first and the second coil side. The preferred designs have a pole pitch 6, but a coil width of only 5. This means that the end windings of the coils are shorter than those in a non-fractional pitch winding since they only have to bridge four instead of five slots. Consequently, the winding sections at the faces are shorter and therefore take up 25 less space thus reducing the resistance loss. In the case of the rotary two-slot winding shown, the pitch of the winding allows to run only three

instead of four end windings in an interlaced pattern, for example. This type of fractional pitch winding pattern is extremely favorable for structural part windings in the sense that it allows for a compact end winding area. It can, however, be used for windings made of wire formation offering corresponding advantages.

5 The windings shown in the design examples have several spiral-like coils whereby two coils are switched in series in such a way that the current in one coil runs through the spiral in the direction of the slot head, and the other in the direction of the bottom of the slot. The connecting lines of the coils are flatter than the slot bars, are layered on top of one another at a slant angle in respect to the 10 connecting line between both slots, and connected with the slot bars. A spiral-shaped coil is formed, for example, when the connecting lines from one face connect slot bars of the same arrangement, and the connecting lines on the other face connect slot bars from radial superimposed layers. This type of winding can be made of L-structural parts, for example. In principle, other structural parts (e.g., 15 U-, C-, I- or O-shaped) or wire-wound coils can also be used.

The serial switch of two spiral-like coils shown allows the connections to the conductor rails to be arranged either at the bottom or at the top of the slot, in other words, both on the same side of the connecting line. This is especially favorable when the conductor rail stack is also placed on this side of the 20 connecting line. In case of single coils (not connected in series), on the other side, a connecting piece would have to be placed crosswise over the connecting line from the slot end to the slot bottom, which would require space in the axial direction. A serial switch allows for a connecting piece switching both coils in series to run parallel to the connecting lines, thus layered radially in a compact 25 way over the connecting lines. The connecting piece could be the centerpiece of a U-shaped structural part, for example.

The structural parts used in the design examples – whether they are L-shaped or differently – are made with non-cutting or cutting metal forming or

working techniques such as founding, extruding, sintering, stamping, pressing, milling and bending, or a combination of these manufacturing techniques. The structural parts could be milled, for example, of a piece of sheet metal of the same thickness as the slot bars, the thickness of the milling parts near the connecting 5 lines and the flattened joint bars would be reduced by closed-die stamping, and finally the material displaced as a result of the stamping would be cut off.

Alternatively, a structural part could alternatively be made of semi-finished products, joined with resistance welding, for example. A preferred design would use an L-shaped structural part composed of two bar-shaped so-called I-structural 10 parts with a different cross-section form. In this case for example, one I-structural part would form the leg of the connecting line and another I-structural part would form the leg of the slot bar. The leg of the slot bar could be made of a piece of square wire, whereas a flat wire or a connecting line could be made of a punched flat piece, for example. Because of the simple shape of the I-structural parts, they 15 can be manufactured with little waste.

In another design, the structural parts are composed of several layers. In this case, a bar-shaped component is placed on a flat, L-shaped structural part in the area of the slot bar, for example, making the area of the slot bar thicker. Several layers could be placed on top of one another. In another design, a similar 20 result can be achieved by folding a flat base material in such a way that the desired thickness is obtained in the area of the slot bar.

The structural parts contain conductive materials such as copper or aluminum, or alloys of these metals, and have been mutually insulated.

The windings described are preferably connected with revolving conductor rails along which several coils or groups of coils placed in parallel. These are 25 connected at regular distances determined by the winding pattern along the

perimeter of the conductor rail. Therefore, the coil ends are not connected with connecting pieces to central connection points, but could be connected (e.g., welded) directly with the conductor rails.

The winding designs shown stand out by its compact end winding area. In 5 particular, the connecting lines are shaped so flat and arranged in such a way that the end windings do not take up more radial space at the faces than the depth of the slot allows. Therefore, the front-end surface of the post below the slot remains uncovered. The surface is, in other words, the surface at the back of the post, which serves to feed back the magnetic current. This area is available to create a 10 circuit for coils. By placing the conductor rails or other components creating a circuit for the winding in this area, the space can be filled up completely on at least one face of the post, thus minimizing the axial expansion of the magnetic non-active space of the post. Moreover, the conductor rails are located close to the 15 coils. Therefore, the conductor rails for the connection of the winding are preferably installed in the direction of the slot depth below the connection line.

In a first design, several or all conductor rails are layered next to one another in the lengthwise direction of the slots, i.e., in an axial direction, for example, preferably making them border directly to the end windings and therefore allowing for a direct connection with the winding at a short distance. At 20 least one conductor rail at the side facing the connecting lines should have a raised side where the coil ends can be connected. According to another design, on the other hand, several or all conductor rails are layered on top of one another in the direction of the depth of the slot. In both cases, at least one conductor rail on the side facing the connecting lines is equipped with joint bars stretching out over the 25 other conductor rails and each connected with one coil end.

In a fair number of designs, the connecting pieces create another conductor rail between two and two coils in serial switch each time, composed of several sectors insulated against one another with four coils each connected in series.

Incidentally, the configuration with revolving conductor rails is generally favorable for any type of winding for an electric device with coils placed in parallel. The description on hand thus also reveals a winding structure for an electric device with a polyphase winding and several coils or sets of coils of the winding placed in parallel and connected with a revolving conductor rail. In this case, the other characteristics described in claims one through four are not present (but could be optionally present).

The designs described generally use the space at the faces of a post in a compact way, allowing in particular for little axial expansion of the non-active magnetic volume of the post. Moreover, the preferred structural part winding has a high space factor, allowing for a high torque density. Therefore, the preferred designs are very appropriate for the crankshaft starter generator of a motor vehicle, i.e., an electric device serving as a starter and a generator. This device sits in a concentric position on the crankshaft of an internal combustion engine and is preferably connected with this shaft without interstage yet with torsional strength. The starter-generator has a limited expansion capability because of the limited housing space, on the other hand, the direct start requires a high torque.

Returning to figures 1-4, these figures individually present and clarify the structural part types used for the preferred winding.

Figure one shows an exploded view of an L-structural part 1 of the first type. A leg 8a of the L-structural part 1 creates a slot bar 8 in the finished winding, whereas the other leg 6a is located at the faces of the post and connects slot bars 8 lying in different slots. Therefore, slot bars and connecting lines are generally

marked with reference numbers 8 and 6, respectively, whereas the slot bar legs and connecting line legs of certain structural parts are indicated with reference numbers 8a, 8b and 6a, 6b respectively.

The connecting lines 6 are flatter and wider than the slot bars 8, as shown in the cross-sections of both legs 6a and 8a in figure 1b. The slot bars 8 actually have a thickness H and a width B, whereby the width B in the designs shown has been selected to allow for several slots bars in one slot next to one another, i.e., at the same height from the slot bottom. Thickness h of the connecting line 6, for example, is one third of thickness H of the slot bar 8, whereas width b is about three times width B of the slot bar 8. This means that the cross-section of the line in both legs of the structural part shown is about the same.

Structural part 1 has a flattened joint bar 10a at the bare end of the slot bar 8a. The joint bar 10a of the first type shown in figure one lies at the same height as the connecting line 6a, i.e., on the bottom side of the slot bar leg 8a in the drawing. This means that the (invisible) bottom side of slot bar 8a of the connecting line 6a and a slot bar 8a lying close to the transition region 12 of the joint bar 10a are on the same level. The transition region 12 of the joint bar 10a shows about the same thickness as the connecting line 6a, i.e., approx. one third of the thickness of the slot bar. At the far end of the joint bar 10a, there is a connecting region 13, which is flattened even more compared with the transition region 12, i.e., to about one sixth of the thickness of the slot bar. The transition between regions 12 and 13 is made with a step at the lower side of the joint bar 10a. The connecting region 13 thus leaves a free space of approx. one sixth of the thickness of the slot bar at the bottom side compared with the height of the bottom side of the slot bar 8a.

Two structural parts are connected by placing the connecting area 13 of the joint bar 10a at the end of the connecting line of a second structural part. The

connecting area 13 is then connected, e.g., welded, with the connecting line of the second structural part. Therefore, the connecting region 13 of joint bar 10a does not have an insulating coat, just like the joint 16 at the end of the connecting line 6. This is marked in the drawing with a shaded line. Structural part 1 and all other structural parts shown which are not marked with a shaded line have an insulating coat. In order to make sure that the connecting layer located in the densely packed end winding area between two structural parts is not thicker than a connecting line 6, the joint 16 of the connecting line 6a has been flattened to about half the thickness of the connecting line 6a. This way, the joint bar connecting region 13 can be placed and welded to a joint 16 without exceeding the thickness of the connecting line 6 at the connecting region. Since the thickness of the transition region 12, which has been kept as short as possible, and the actual connection is only about one third of the slot bar 8a, it comes with a cross-section contraction. This is accepted in favor of a densely packed end winding arrangement of the connecting line. The transition region 12 can be favorable since it creates a distance between the slot bars and the end winding. The cross-section of the line should be as big as possible. The transition region 12 could also be designed as a continuous transition between the slot bar and the connecting region 13. In other designs where the transition region 12 has been left out, the connecting region 13 is directly connected with the slot bar 8.

Figure 2 shows a second type of an L-shaped structural part 2, used to create a complete winding of a spiral coil in combination with the first type. Structural part 2 basically has the same design as structural part 1, i.e., the lengths and the cross-sections B-B and A-A of the connecting lines 6a, 6b and joint bars 8a, 8b of both structural parts are the same. Structural part 2 also has a flattened joint bar 10b at the bare end of the slot bar 8b. Contrary to the slot bar 10a of

structural part 1, the flattened joint bar 10b is not located at the same height as the connecting line 6b, but offset with the opposing area of the slot bar 8a. The joint bar 10b of structural part 2 is actually located at the height of the side (located on top in figure 2) of slot bar 8b, whereas the connecting line 6b – just like with structural part 1 – is located at the same height as the bottom side of the joint bar 8b. For the rest, the joint bar 10b of structural part 2 is laid out the same way as joint bar 10a of structural part 1: It shows a transition region 12 directly following the slot bar 8b and about as flat as the connecting line 6b, and yet another flattened connecting region 13 at the outer end of the joint bar 11. This region 13 is so flat that its thickness together with the thickness of the flattened joint 16 of a connecting line 6 is about the same as the thickness  $H$  of a connecting line 6. The step between transition regions 12 and 13 is located at the downwards pointing side of the entire joint bar 10b in such a way that the top side of the entire joint bar 10b is located at the same height as the top side of joint bar 8b.

Figure 3 shows a third type of L-shaped structural part 3, used to connect the winding with the conductor rails. Structural part 3 is basically the same as structural part 1, but comes with an extended joint bar 26 instead of the joint bar 10a. This extended joint bar 26 is connected, e.g., welded, with a conductor rail and therefore has no insulation. The thickness of slot bar 26 is preferably the same as the thickness  $h$  of a connecting line 6. Structural parts 3 are favorably located in the lower winding arrangement of the slots, bordering the extended joint bars 26 directly to the conductor rails placed below the slot bars, if need be. Another option would be to place the structural parts 3 in the top winding arrangement.

In another preferred design, the joint bars are placed on the conductor rails in order to connect the winding with the conductor rails. In this case, no special structural parts 3 of the third type are needed and the joint bars 10a of the structural parts 1 of the first type, for example, are welded on the extended joint bars 26 of the conductor rails.

Finally, figure 4 shows a type of U-shaped structural part used to create a serial switch for two spiral-shaped coils of one winding. The U-shaped structural part 4 has two slot bar legs 8b, 8b'. The length and the cross-section A-A of these slot bar legs are the same as those of the slot bar legs 8a, 8b of structural parts 1 and 2. Both slot bars 8b, 8b' have a flattened joint bar 10b at the bare end. This joint bar 10b is located in the drawing at the topside of the slot bar 8b, 8b', respectively, and therefore corresponds with the slot bar 10b of the L-structural part 2. The connecting line 7 connecting both slot bars 8b, 8b' has the same cross-section B-B as the connection lines 6a, 6b of structural parts 1 and 2. They are, however, one slot length longer. If the connecting lines 6a, 6b of the structural parts of the first and the second type are, for example, long enough to create a coil with slot bars 8 within a distance of five slots, the connecting line 7 of the U-structural part is extended by connecting two coils, here for example in such a way that both slot bar legs 8b, 8b' end up at a distance of six slots from one another.

Another typical detail of the connecting line 7 is that it is not located at one and the same level relative to both slot bar legs 8b, 8b'. It is rather located at the height of the top side (in the drawing) of a slot bar leg 8b on one side, yet on the other side at the height of the bottom side of the other slot bar leg 8b'. If both slot bar legs 8b, 8b' of a U-structural part in a finished winding are in the same winding arrangement, the U-structural part consequently lies at a slight slant angle with both slot bars 8b, 8b' to the connecting line between both slots. The ends of the connecting line legs of these L-shaped structural parts are flattened, as indicated with a welding 27. The U-shaped structural part could be made of two L-shaped structural parts, for example, with flattened areas at the end of the connecting line legs. These flattened areas are placed on top of one another and welded together.

Figure 5 shows different possibilities to create an L-structural part from different parts instead of only one entire part. The preferred design shown in figure 5a has an L-structural part made, for example, of two bar-shaped I-structural

parts. The lengths and cross-sections of the I-structural parts required for the connecting line 6 and slot bar 8 are different and could be made of semi-finished products, for example. A slot bar 8 could for example be made by cutting off a square wire with an appropriate cross-sectional shape. A joint bar 10 is stamped on one end (not shown) of the square wire, and the displaced material is cut off. The other end is stamped and cut off in a similar way to create a recess 22 which is placed in an extension 21 and can be connected with the slot bar. The connecting line 6 is preferably stamped from a flat strip. If need be, a flattened joint 16 is stamped at a corner of the connecting line 6 and the recessed material is cut off. The slot bar 8 and connecting line 6 are preferably resistance welded together. For this, welding knobs are preferably stamped in the extension 21. The end of the slot bar 8 shown is possibly stamped even more so this slot bar end has the same thickness as the extension 21 of the connecting line 6. The symmetry created this way between the thickness and the sink heat proves to be favorable. Proper methods to create an electric connection between the connecting line 6 and the slot bar 8 shown in fig. 5a are, amongst others, welding (with a laser beam), soldering or gluing with a conductive glue, as well as positive or non-positive connections.

The L-structural part in the variants shown in fig. 5b and c consists of multiple layers. The structural part in fig. 5b, for example, consists of a flat L-shaped layer 18 and a second layer 19 applied only in the area of the slot bar. The parts of layer 18 protruding from underneath layer 19 create the connecting line 6 on one side and the joint bar 10a on the other side. This means that the structural part is a type 1 part. Another layer 20 is added as shown in figure 5c in order to create a type 2 structural part where the joint bar 10b and the connecting line 6 are

not located at the same level is added as shown in figure 5c. This layer protrudes from the slot bar end over layer 19, thus creating a joint bar 10b. The thickness of layer 19' in fig. 5c is thinner than layer 19 of fig. 5b by one time the thickness of layer 20. The layers placed on top of one another are preferably soldered, welded (ultrasonic, laser beam or resistance welding), tox clinched or stamp packed.

Next, the construction of a winding with overlapping coils made with L-structural parts will be described as per fig. 6 through 8. These figures show the composition of the bottom winding layer with few structural parts. For the sake of simplicity, the structural parts are presented without a post lying down on a flat surface. In case of a post body of a radial field device, the structural parts would be located on the interior sheath surface of a cylinder. Fig. 6 shows three type 3 L-shaped structural parts with extended joint bars. The structural parts 3 are located in the winding arrangement right at the bottom of the slots and placed in an offset pattern two slot lengths apart, so each second slot of slot bar 8a contains one structural part 3. The extended joint bars 26 are all located at the same face of the post body and connected with the conductor rails (not shown) underneath. The connecting lines 6 on the other side of the post body are placed on top of one another in a scaled pattern, thus creating a layer 28 of connecting lines. Inside the layer of connecting lines 28, the connecting lines are layered in such a way that the bare end is always located in the upper part of this layer and the joint 16 is exposed and accessible, whereas other connecting lines 6a cover the other end. The transition between the connecting lines 6a and the slot bar 8a of the same L-structural part 3 is covered by other connecting lines 6a. The transition between the connecting lines 6a and the slot bar 8a of the same L-structural part 3 is located in the covered area.

As the drawing shows, the connecting layer 28 contains three connecting lines 6a on top of one another. Since the thickness  $h$  of the connecting lines 6a in the design shown is about one third of the thickness  $H$  of the slot bar 8a, the connecting line layer 28 is nowhere higher than the corresponding layer of slot bars 8a.

In the example shown, the connecting lines 6a connect slot bars every five slots, as clarified below. In other designs (not shown), the connecting lines connect slot bars at a bigger or smaller distance so there are also more or less three connecting lines on top of one another in one connecting line layer. The thickness  $h$  of the connecting lines 6 is favorably selected in such a way that the thickness of each connecting line layer 28 corresponds with the thickness  $H$  of a slot bar 8. Other designs, which do not specify a certain structural connecting part for the conductor rails, use structural piece of the first type in the first assembly steps following fig. 6.

Once each slot has a structural part 3 in accordance with fig. 6, each remaining slot is each filled with one structural part of type 2 in such a way that its connecting line 6b ends up on top of the connecting lines 6a of the structural parts 3 inserted previously and located on the opposing face of the post (see fig. 7). The connecting region 13 of the flattened joint bar 10b of structural part 2 herewith ends up on the flattened joint 16 of the connecting line 6a of structural part 3. The structural part 2 is connected with structural part 3 in this location, i.e., by welding with a laser beam. A laser beam with adequate energy is pointed at the exposed surface 14 of the connecting region 13 of the joint bar 10b. This melts the material of the connecting region 13 of the joint bar 10b, merging it with the underlying joint 16 of the connecting line 6. Alternatively, there is a groove in area 13 of the joint bar 10b, enabling to point the laser beam directly through this groove at the edge between the end of the joint bar 13 and the joint 16 underneath. In this case, the laser beam does not have to melt the entire thickness of the end of the joint bar 13.

Since the end 13 of the joint bar 10b of structural part 2 – as clarified in fig. 2 – is located at the level of the top of the slot bar 8b, the slot bar 8b of

structural part 2 ends up in the same winding arrangement as the slot bars 8a of the structural parts 3 when it is placed on top of the connecting region of the connecting line 6a. This eliminates the difference in height created by the scaled pattern at a slant angle of the connecting lines 6a in the connecting line layer 28.

5 At the opposite face, the connecting line 6b of structural part 2 is also located at a slant angle, i.e., at the covered end at the same height as the extended joint bars 26 of the structural parts 3. From this point to the bare end, it is only covered over this joint bar.

10 Fig. 8 shows the same winding arrangement as fig. 7, with an additional structural part 2' corresponding with structural part 2. Structural part 2' is connected the same way as structural part 2, i.e., with the end of its joint bar end area 13 at the end of its slot bar leg 8b' with the joint 16 of structural part 3. It is connected on the opposite side with the connecting line 6b' in a layered scale-like pattern over the connecting line 6b of structural part 2 in such a way that the joint 15 16 ends up over the slot bar end of structural part 3 connecting the joint bar end area 13 of structural part 2'.

20 A complete winding arrangement of slot bars 8 is obtained by adding additional structural parts 2 and 2' in each second slot in accordance with fig. 8. The connecting lines of structural parts 2 and 2', respectively, then form a second connecting line layer 30 similar to layer 28 on the other face. Each bare end of connecting lines 6a, 6b of the structural parts 2, 3 faces upwards in these layers in such a way that the joints 16 are not covered by connecting lines of the same layer. The connecting line layers 28 and 30 are each layered at a slant angle in such a way that the connecting line 6b (in the exploded view of the drawing) runs from 25 the left bottom to the right top, and the connecting lines 6a from the right bottom to the left top.

A complete winding of a spiral shaped coil is built by welding structural part 2 to the matching structural part 3. The connecting line 6b of structural part 2 layered at a slant angle takes the winding to the next-higher winding layer. The spiral is extended by putting a structural part 1 – not shown in fig. 8 – on structural part 3 of the first winding. This creates the start of the new winding layer. The connecting area 13 of joint bar 10a thus puts structural part 1 on the joint 16 of the corresponding structural part 2 and is connected with it as described above. Since the slot bar 10a of structural part 1 is located at the level of the bottom of the slot bar 8a of structural part 1, the height difference created in the connecting line layer 30 resulting from the slant layering is not leveled out. On the contrary, it ends up creating a spiral. Structural parts of type 1 are placed on all structural parts 3 in order to create a complete winding. These type 1 structural parts are again welded at the corresponding joints 16 of the structural parts 2. Additional structural parts 2 are placed in the remaining slots, i.e., each second slot on top of the structural parts 2, and then welded to the joints 16 of structural parts 1, thus completing this second winding arrangement. The connecting lines of structural part 1 create another connecting line layer 28. The composition of this layer is the same as the connecting line layer 28 of structural parts 3 shown in fig. 8. Once the second winding layer has been installed and connected, several interlaced coils with each two windings with connecting lines staggered in one another have been created.

Fig. 12 shows a diagrammatic presentation of the staggering of the connecting lines of interlaced coils. This figure shows a diagrammatic top view of the faces of a spooled post. The front surface of the connecting lines 6b is marked in a simplified way with lines. The connecting lines 6b are arranged in four slant layers 30 on top of one another. The connecting lines 6b of the different branches

are marked with different lines, e.g., the connecting lines of branch V with continuous lines, the connecting lines 6b of branch W with dash-dotted lines and the connecting lines of branch U with a dashed line. The different branches alternate within one connecting line layer 30. Layering multiple similar layers and the corresponding connections between the structural parts of these layers creates spiral shaped coils 50, 52, 50', 52', 50'', 52'' with staggered connecting lines. Each connecting line 6b of a layer 30 belongs to another coil. The connecting lines of branch V, for example, belong to coils 50, 52, those of branch W to coils 50', 52', and the connecting lines of branch U to coils 50'', 52''. Coil 52'' overlaps coils 52, 52' on one side and coils 50, 50' on the other side.

On the other face, the connecting lines 6a are arranged correspondingly, with the difference that the connecting lines 6a of the layer 28 each connect slot bars from winding layers lying upon another, which results in them passing into the next-higher winding layer after each winding.

The end winding arrangement shown in fig. 12 can also be used for winding which are not composed of L-structural parts, but of any other random structural parts. In principle, the end windings of wire-wound coils can also be staggered instead of evading in bunches at the faces. Even though fig. 12 shows a three-phase two-slot winding, any random winding of an alternating or direct current generator can be created in a way that the connecting lines of interlaced coils are staggered.

Just like fig. 6 through 8, figure 9 shows a part of the winding layer located under the slots. The drawing no longer shows the idealization of a leveled developed view, but a cutout of a bent post 32 of a radial field device in an interior armature design (or an armature in an exterior armature design) with

structural parts 2, 3 placed in the slots 34. In order to make the actual winding better visible, the design only shows the two faces of the post body 32. The post body 32 is solid of course, and typically composed of electric sheets layered upon another in an axial direction. This means that each face presented of the post body 32 corresponds with the outer sheets of the armature stampings.

Structural parts 2, 3 are located directly above the bottom of the slot in the slots 34. The head 36 of the slots 34 is narrowed so the L-structural parts 2 and 3 can only be slipped in the slots in an axial direction. The face from the spectator's point of view has already been put in a layer of structural parts 3 and three structural parts of type 2 have been put on the opposite face.

The bent presentation of fig. 9 reveals that the connecting lines 6 of the L-structural parts are slightly bent in a radial direction. This is meant to layer the connecting lines in the most compact connecting line layer 28 on one side, and on the other side to follow the perimeter of the post body. The flexion shown of the connecting line can follow when the structural parts are installed. It is also possible to build the structural parts with the required curvature or to bend them as needed before the installation. Fig. 9 also shows that the slots in the post body of the radial field device shown converge in a radial direction from the slot bottom to the slot head. This means that the distance between two slots is smaller at the slot head than at the slot bottom. It is easy to level this difference in a winding composed of L-structural parts shown since the exact distance between two slot bars 8a, 8b connected with one connecting line 6a or 6b is not defined. The connection area 13 of the joint bars of a slot bar 8a or 8b can rather be placed at a random spot on the connecting line 16 with the connecting line 6a or 6b of a second structural part and where it will be connected with it. The width of the connecting area 16 should have adequate tolerance.

5 Next, a manufacturing example of the method used to create a winding is clarified on the basis of fig. 10a-c. Each figure shows a diagrammatic top view of the slotted side of a post or an armature – one should picture the post or armature body cut open again and wound off in one tier. The narrowing of the slots at the slot head is not shown here, allowing a full view of the top winding layer in the slots. The slots are all numbered from 1 through 12 since the winding arrangement used in this example is repeated every 12 slots.

10 Fig. 10a shows the post after finishing the first step of the manufacturing process with a structural part 3 placed in the direction of the arrow P in each second slot 1, 3, 5, 7, etc. of the post face located in the top section of the drawing. All connecting lines 6 of the structural parts (in the drawing) point to the left. The structural parts 3 are placed in the slots in sequence from the left to the right to allow for all bare ends of the connecting line 6 to be radially accessible once all structural parts 3 of this layer have been placed. The structural parts 3 in the slots 15 1, 5 and 9 all show an extended flattened joint bar 26 at the bare end of the slot bar. This joint bar is suitable for connecting the winding with a conductor rail (not shown here) for the current supply phases. The structural parts in the slots 3, 7 and 11 also show a flattened slot bar 26', which is shorter in this example than the extended slot bars 26, and lie on a conductor rail 40 for the star point.

20 Once the structural parts of this first (partial) layer of the winding have been installed, a second step consists of welding the flattened slot bars 26' and 26 with a laser beam to the subjacent conductor rails.

25 Next, a structural part 2 is placed in the direction of the arrow Q in each remaining slot from the opposite face (located at the bottom in the drawing) as shown in fig. 10c. These structural parts are placed in a way that the connecting line 6b of the structural parts 2 in the drawing point to the right.

The flattened joint bars 10b at the bare end of the slot bars 8b of structural part 2 all end up on the bare end of a connecting line 6 of a structural part 3. Once all structural parts 2 of this winding arrangement have been placed, the flattened joint bars 10b are welded with a laser beam to the subjacent bare end of the structural parts 6. The winding design presented here has grooves 11 in the flattened slot bars 10b, through which the welding laser beam is able to point directly at the connecting line 6 of a structural part 3.

Fig. 10c shows the post at the end of the next manufacturing step. Here, structural parts 1 are pushed in every other slot 1, 3, 5, 7, etc. in the direction of the arrow P, viewed from the upper face of the post in the drawing. This is done in such a way that the structural parts 1 end up directly opposite the structural parts 3 placed in step 1. The flattened joint bars 10a of the structural parts 1 are each at the bare end of a connecting line 6 of a structural part 2 installed in step 3. Once all structural parts 1 have been placed, the flattened joint bars 10a of the structural parts 1 are welded with a laser beam to the subjacent connecting lines 6 of the structural parts.

The steps shown in fig. 10b and 10c are repeated until all slots are filled with slot bars, except for the top winding layer. Opposed to the step shown in fig. 10b, in which structural parts of type 2 are placed from the bottom face, U-shaped structural parts of type 4 are placed as shown in fig. 11. In the drawing, not all U-structural parts have been pushed in completely. The U-structural parts 4 marked with a shaded line each have two slot bars 8b and 8b' placed in the slots 2 and 8, 4 and 10, 6 and 12. This means that there is a slot bar leg of a U-structural part in every other slot. The connecting line 7 of the U-structural parts are also layered on top of one another in a scaled pattern on the lower face of the post, just like the connecting lines 6 of the L-structural parts. The connecting lines 7, however, are all one slot distance longer than the connecting lines 6 of the L-structural parts. Consequently, the flattened joint bars 10b of the slot bars 8b, 8b' of the

U-structural parts all end up on the bare ends of coils belonging to different connecting lines 6a of structural parts 1 and are welded with a laser beam in this last step.

Two spiral shaped coils are connected in series in each U-structural part. The following is a detailed description of this in reference to fig. 12. As mentioned above, fig. 12 is a highly diagrammatic top view presentation of one face of a spooled post. The face in question corresponds with the lower face shown in fig. 10 and 11. Fig. 12 shows the back of the connecting lines 6b placed on top of another in several layers 30. For the purpose of pictorialization, the current direction in one of the branches has been marked with arrows in the drawing. The branch U marked with a continuous line starts at point A with a connection to a conductor rail. From there, the branch is guided into a spiral shaped coil 50 over four winding layers or four connecting line layers 30, respectively, to the slot head. The dotted line represents a connecting line 6 on the opposite face of the armature. This connecting line 6 connects a U-structural part. The connecting line 7 of this U-structural part runs over the face shown. Two coils 50 and 52 with an equal layout are connected in series through the U-structural part in such a way that the current flows in an opposite direction through both coils, following the directions of the arrows. This means that the current in the spiral shaped coil 52 depicted flows from the slot head to the slot bottom, whereas in coil 50, it flows from the slot bottom to the slot head. The branch is connected at the star point at point B. The other branches, depicted with dashed or dash-dotted lines, respectively, mark connections with the conductor rails as well as corresponding U-structural parts with connecting lines 7, which have not been marked in fig. 12.

Fig. 13 shows the winding arrangement for the winding shown in fig. 1 through 12. It shows how the individual coils are distributed over the slots of the post, whereby this winding arrangement has only one coil side in each slot (single-layer winding). The winding arrangement is repeated every 12 slots. The

winding is laid out as a threephase winding (rotary winding) with two slots per pole and branch (two-slot winding). This results in a pole pitch of six, i.e., the distance between two poles is six slots. In case of a full-pitch winding, the coil width, i.e., the distance between both coil sides of a coil expressed in slots full-pitch winding, therefore also equals six. The coil width of the winding shown in fig. 13, however, is smaller than the pole pitch, i.e., and equals five. Therefore this is a so-called fractional pitch winding. The fractional pitch results in the winding heads of no more than three coils are guided along one another at the faces of the post. For the winding designs described above, this means that a compact winding head arrangement is obtained when the thickness  $h$  of the connecting line is one-third or smaller than the thickness  $H$  of the slot bars.

A branch V in fig. 13 is printed in bold for the purpose of clearness. The other branches U, W run accordingly. Branch V consists of two coils 50, 52 connected in series, which are presented here in a simplified way as closed rings – whereas they actually are spirals with eight windings, for example. On one side, coil 50 is connected electrically with the conductor rail 44 for branch V, and on the other side with the coil 52 via a connecting piece 7 (which could be a U-structural part, for example) bridging six slots. This is connected with the conductor rail marked with a Y for the star point 40. The immediate current direction has been marked with arrows. Both coils 50, 52 are located in neighboring slots with their coil sides facing one another, in such a way that the current in both neighboring slots flows in the same direction. Each time, there are four coil sides of coils from other branches between the coil sides of a coil 50, 52.

The arrangement of the winding heads does not become clear from the winding arrangement of fig. 13. If, however, the connecting lines are layered in a compact way as described above, there is hardly any spacing in the densely packed “winding head arrangement”. Therefore, the connecting pieces 7

necessary to connect two coils in series are either conveniently located at the slot head or at the slot bottom, i.e., at the edge of the winding head package. If the winding basically consists of spiral shaped coils (i.e., coils in which the connecting lines do not overlap in a radial direction), a connecting piece 7 connects two coils 50, 52 in series at once in such a way that the current flows in the direction of the slot head in one coil, and in the direction of the slot bottom in the other coil. However, since the above described layering of the connecting line is identical for both coils 50, 52, connecting piece 7 connects both coils 50 and 52 in series in such a way that the current flows in an opposite direction, i.e., negative phase sequence, through both spirals. As a result of this serial connection, the connections between the branches and the conductor rails for the current supply 42, 44, 46, as well as for the star point 40 automatically all end up on one radial side of the winding head package, actually on the other side of the connecting pieces. The conductor rails are also conveniently located on this side.

An alternative consists of connecting four coils in series or another even number each time, as shown in fig. 14. The winding arrangement of fig. 14 is the same as the one of fig. 13, with the only difference that two pairs of coils connected in series are again connected in series each time with another connecting piece 48. The connecting pieces 48 can be laid out the same way as the connecting pieces 7; following another layout, they create sectors of an additional conductor rail.

Fig. 15-20 show compact design examples of the conductor rail package. The conductor rails run around the post allowing the connection of several coils or groups of coils placed in parallel along the perimeter. The current flow through the current supply of conductor rails is generally higher. Therefore, the diameter of the conductor rails is relatively large in order to minimize the resistance losses. As a result of this, the conductor rails take up a lot of space. In order to limit the axial

expansion of the post as much as possible, the conductor rails in this area in the examples shown are arranged in a radial way next to the slot openings on one face of the post. The surface at the face remains bare anyway in the compact winding head arrangement described above, and this space-saver can therefore be used for the current supply. The conductor rail packages are therefore particularly suited for connecting the winding described above. However, they can be combined with any winding, in principle.

Fig. 15 shows an example of an arrangement of the conductor rails for a rotary current winding according to a first design. As mentioned, the conductor rails are arranged in the direction of the slot depth below the winding heads and connected with connection 49 with the rotary current source in this case. The conductor rails shown in fig. 15 are layered on top of one another in lengthwise direction, i.e., axial direction of the slots, in such a way that each conductor rail ends up directly adjacent to the radial inside of the winding heads. The joints 60, 62 connecting the branches with the conductor rails are therefore arranged on the radial inside of the conductor rails. The winding can therefore be directly connected, for example welded or soldered, to the conductor rails 40, 42, 44, 46 without any other connecting pieces, for example when the winding consists in part of special structural parts 3 with extended joint bars 26 at the slot bar end reaching all the way to the joints 60, 62.

It should be guaranteed, however, that each extended joint bar 26 contacts only one of the conductor rails 40, 42, 44 or 46. For this purpose, the joints 62 of the conductor rails 42, 44, 46 are equipped with an electric insulating coat with windows, offsetting one another in such a way that each joint bar 26 contacts one window at the most. According to another variant shown in fig. 15, 17 and 18, the current rings at the contact points 62 show elevations, so-called welding bulges 63,

sticking out radially to the inside. If an extended joint bar contacts a welding bulge 63 and is welded to it, the joint bar is kept at a distance of the other conductor rails at the same time. The welding bulge 63 is stamped for example into the conductor rails 42, 44, 46 by pressing the conductor rails 42, 44, 46 in an axial direction at those spots where a welding bulge 63 should be created, thus creating a bulge 63 from displaced material on the radially inwards facing side of the conductor rail. The displaced material could be shaped like a protruding banner, for example (see fig. 18).

If need be, the winding is not only connected for the current supply with the conductor rails, but also with a conductor rail connecting three branches, the so-called star point. Alternatively, the branches can also be delta connected, thus eliminating the need for conductor rails for the star point. Since the current in the three phases of a rotary current source are dephased by  $120^\circ$  to one another, the sum of the currents flowing in the star point nearly equals zero at any time. For the sake of saving space, the conductor rail for the star point 40 has therefore a smaller cross-sectional area than the conductor rails 42, 44, 46 for the current supply, i.e., the cross-sectional area is thinner in an axial direction than the other conductor rails 42, 44, 46. The star point conductor rail 40 in the example shown in fig. 15 is too thin to weld a structural part of the winding on the inner radial area of a structural part of the winding. Therefore, it has joint bars 60 instead of welding bulges 63 extending in an axial direction over the radial inner area of the other conductor rails. The extended joint bar 26 of a structural part 3 could be welded on these joint bars 60, for example. For the sake of clearness, fig. 16 presents the conductor rail for the star point 40 with the joint bars 60 without the other conductor rails.

The conductor rail packet shown in fig. 15 is suitable for connecting a three-phase winding with any winding layout. The conductor rail packet shown in fig. 17, on the contrary, is very suitable for connecting the rotary current winding with four coils each connected in series. It has the same components as fig. 15, in particular three axially layered conductor rails 42, 44, 46 connecting the

winding with the electric current supply. These conductor rails all have joints 62 shaped as welding bulges 63, as well as a conductor rail 40 for the star point, which is equipped with joint bars 60 extending over the radial interior surface of at least one of the conductor rails. It additionally has another rail, a sector piece conductor rail 48 arranged on the radial inner side of the conductor rail package, whereby the joints 60 and 62 of the remaining conductor rails 40, 42, 44, 46 are accessible through the corresponding recesses in the sector conductor rails 48 and put in contact with the winding. The sector piece conductor rail 48 is not continuous, but consists of sector pieces insulated electrically from one another. They build the connecting pieces marked as 48 in the winding arrangement of fig. 14 between two pairs of coils connected in series. For this purpose, the extended joint bars 26 of structural parts 3 of the coils 52 and 54 belonging to the different coil pairs are welded with both ends of a sector 48.

Following yet another design, the conductor rails are layered in a radial direction as shown in fig. 19, and not in an axial direction. Only one conductor rail 46 is arranged directly at the winding heads in this arrangement, whereas the other conductor rails 42, 44 do not have direct access to the winding. Therefore, all conductor rails are equipped with joint bars 61 protruding radially to the inside over other conductor rails or over the winding heads if need be. The winding is connected for example by bending the end of these joint bars 61 to the inside, and welding the extended joint bar 26 of a structural part 3 to the bent end. This example also allows for arranging a conductor rail 48 subdivided in sectors in a radial direction on the inside of the conductor rail packet, or arranging a conductor rail for the star point in a radial or an axial direction over the other conductor rails 42, 44, 46. The conductor rails could be made of rings cut out of a plate,

for example. This results in quite a bit of waste however. Therefore, it is preferred to create the conductor rails by bending a bar with an appropriate cross-section or individual ring sectors. Fig. 19b shows such a conductor rail 40, 42, 44, 46 made off individual ring sectors. Press fitting is preferred to connect the sectors, whereby extensions 47, for example, are pressed in corresponding recesses in the ends of the sectors. The conductor rails are favorably turned into a packet in such a way that the joints between the sectors of interlaced conductor rails are offset, thus increasing the stability of the conductor rail packet.

Fig. 20 shows a winding design in a post of an electric radial field machine with a conductor rail packet, corresponding with the one shown in fig. 19. The space-saving use of the area at the face of the post 32 becomes very clear here, as well as the staggered arrangement of the coils overlapping the connecting lines 6.

The windings described in the different examples of arrangements can be made with a few different, simple structural parts and stand out because of a space-saving arrangement of the winding heads.

## PATENT CLAIMS

1. Winding for an electric machine with a post and/or armature with slots (34), whereby the winding encompasses several interlaced coils (50, 52, 50', 52', 50'', 52'') with at least one complete winding, showing connecting lines at the faces of the post or the armature, characterized by a  
5 staggered arrangement of the connecting lines (6) of interlaced coils (50, 52, 52', 50'', 52'') and thus creating layers (28, 30).
2. Winding for an electric machine with a post and/or armature (32) with slots (34), in particular following claim 1, characterized by the fact that the  
10 winding is composed at least in part of two L-structural parts (1, 2, 3), whereby each time one leg of an L-shaped structural part creates a slot bar (8a, 8b) located in a slot, and the other leg creates a connecting line (6a, 6b) on one face of the post or armature.
- 15 3. Winding for an electric machine with a post and/or armature with slots (34), in particular following claim 1 or 2, whereby the winding encompasses several coils composed of slot bars (8) located in the slots, and connecting lines (6) located at the face of the post or armature, and whereby the connecting lines (6) are flatter than the slot bars (8),  
20 characterized by the fact that the winding is styled as a fractional pitch polyphase winding with two slots (34) per pole and branch.
- 25 4. Winding for an electric machine with a post and/or armature with slots (34), in particular following claim 1, 2 or 3, whereby the winding encompasses several coils (50, 52, 50', 50'', 52'') composed of slot bars (8) located in the slots, and connecting lines (6) located at the faces of the post or armature, characterized by the fact that at least two coils (50, 52) are

connected in series, whereby the current flows through one of the coils (50) in the direction of the slot head and through the other coil (52) in the direction of the slot bottom.

5. Winding following claim 4, characterized by the fact that a U-shaped connecting piece (4) consisting of two slot bar legs (8b, 8b') and a connecting line section (7) connects two serial coils (50, 52) in series.
10. Winding following claim 4 or 5, characterized by the fact that the current flows through two serial coils (50, 52) in an opposite direction.
15. Winding following one of the claims 4 through 6, characterized by the fact that the outsets (26) of the coils are all located at the same side of the connecting line (6) in the direction of the slot depth.
20. Winding following one of the above claims, characterized by the fact that the connecting line (6) is flatter and wider than the slot bars (8).
25. Winding in accordance with one of the above claims, characterized by the fact that the connecting lines (6) of interlaced coils (50, 52, 50', 52', 50'', 52'') are styled flatter than the slot bars (8) in such a way that the layer (28, 39) of connecting lines (6) belonging to one layer of slot bars (8) is not higher than a slot bar (8).
10. Winding following one of the above claims, characterized by the fact that the connecting lines (6) at the faces of the post or armature each time run at a slant angle with the connecting line of both slots (34) from which the slot

bars (8) are connected through the individual connecting lines (6).

11. Winding following one of the above claims, characterized by the fact that one coil (50, 52, 50', 52, 50'', 52'') is created by connecting lines (6a) on one face connect the slot bars (8a, 8b) of the same layer, and the connecting lines (6b) on the other face are composed of slot bars (8a, 8b) consisting of layers on top of one another – in the direction of the slot depth.
12. Winding following one of the above claims, characterized by the fact that the structural parts consist of several layers.
13. Winding following one of the above claims, characterized by the fact that the L-shaped structural parts (1, 2, 3) consist of two bar-shaped I-structural parts with a different cross-sectional area and/or form.
14. Winding following one of the above claims, characterized by the fact that the bare end slot bars (8a, 8b) of the L-shaped structural parts have a flattened joint bar (10a, 10b).
15. Winding following claim 14, characterized by the fact that the connecting lines (6a, 6b) of the L-shaped structural parts have a joint (16) at the bare end on top of which the flattened joint bar (10a, 10b) of the second structural part can be placed to create the connection with a second structural part.
16. Winding following one of the above claims, characterized by the lack of an offset in the direction of the depth of the slot (8) between a slot bar (8) and the attached connecting line (6).

17. Winding following one of claims 3 through 16, characterized by the fact that the winding is styled as a threephase two-slot winding with a coil width of five slots.
- 5 18. Winding following one of the above claims, characterized by the fact that several coils or groups of coils placed in parallel are connected with a revolving conductor rail.
- 10 19. Manufacturing method for a winding following one of claims 1 through 18 for a post or an armature of an electric machine, characterized by a repetition of the following steps: (a) Placing structural parts (1, 2, 3) in the slots of the post or armature until an entire winding arrangement or part of a winding arrangement has been created, and (b) connecting the structural parts placed in step (a) with conductor rails (42, 22, 46) or with structural parts (1, 2, 3) mounted in the previous step.
- 15 20. Method following claim 19, characterized by the fact that L-shaped structural parts (1, 2, 3) are placed in the slots (34) of the post or armature (32) from the side of the face, and are then connected with a winding by connecting, in particular welding, each bare end of the slot bar leg (8) of a first structural part (1) with the connecting line leg (6) of a structural part (2) installed from the opposite face.
- 25 21. Procedure following claims 19 or 20, characterized by repeating the steps mentioned in claim 19 until at least a few slots are filled up to one winding arrangement, followed by placing structural parts (4) in these slots which are suitable to create a circuit with the coils (50, 52).

22. Set of structural parts to manufacture a winding for an electric machine, consisting of one type of L-shaped structural part or two types of L-shaped structural parts (1, 2) with connecting line legs (6a, 6b) designed flatter than the slot bar legs (8a, 8b).

5

23. Set of structural parts following claim 22 with two types of L-shaped structural parts, with one type designed to create a connection in one and the same winding layer, whereas the other is designed to create a transition from one winding layer into the next.

10

24. Set of structural parts following claim 22 or 23, additionally equipped with a type of structural part (4) connecting two coils (50, 52) connected in series.

15

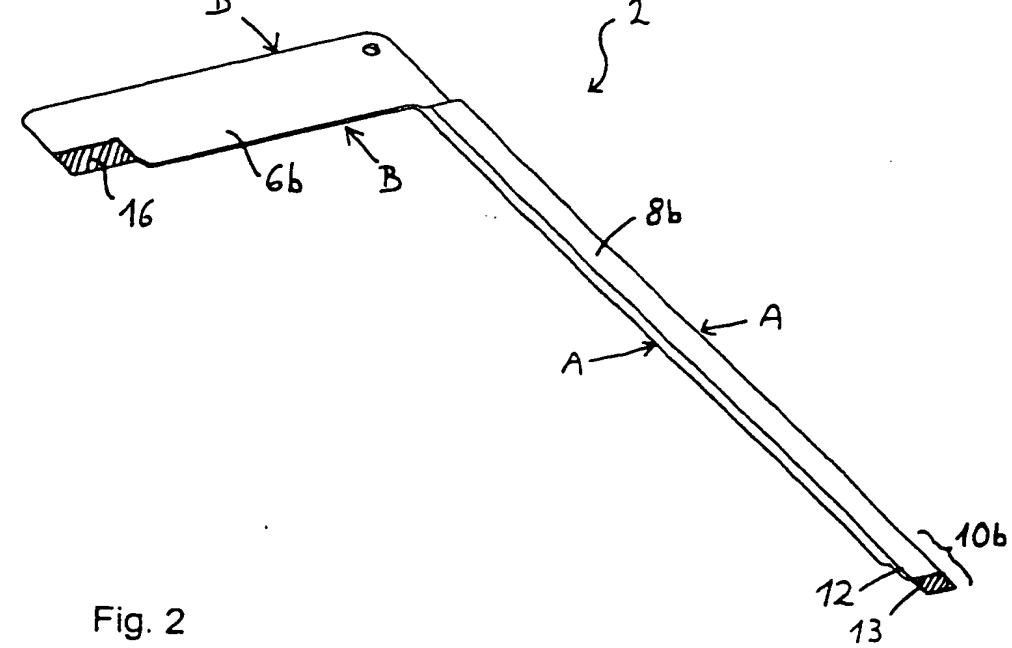
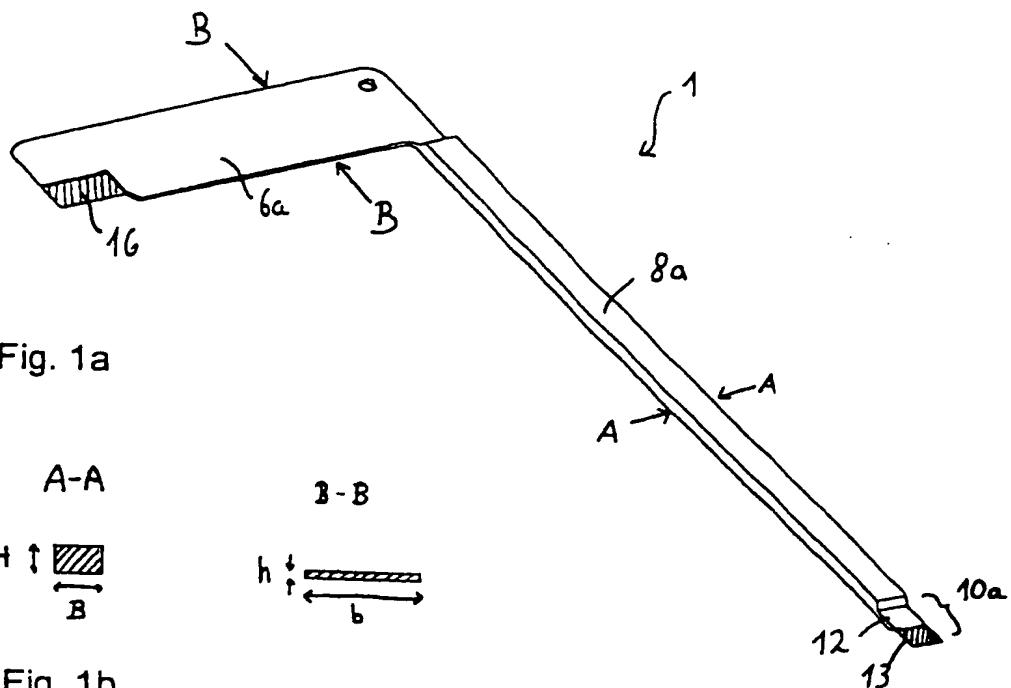
25. Set of structural parts following one of the claims 22 through 24, additionally equipped with another type of structural part (3) connecting a coil with a current supply.

20

26. Winding for an electric machine, with a winding consisting of only one or two structural parts (1, 2) following claim 22 or 23, and whereby the winding is additionally equipped with one or two other types of structural parts (3, 4) following claim 24 or 25 creating a circuit for the winding.

## Summary

The invention concerns a winding for a post or an armature of an electric machine with a post or armature (32) with slots (34) composed at least in part of L-shaped structural parts (1, 2, 3). In doing so, one leg of an L-shaped structural part each time creates a slot bar (8a, 8b) located in a slot, and the other leg creates a connecting line (6a, 6b) located at a face of the post or armature. Moreover, the invention concerns a winding with several interlaced coils (50, 52, 50', 52', 50'', 52'') whereby the connecting lines (6) of interlaced coils (50, 52, 50', 52', 50'', 52'') are staggered and therefore arranged in layers. The invention furthermore concerns a winding with connecting lines (6) flatter than the slot bars (8), styled as a fractional pitched polyphase winding with two slots per pole and branch. The invention also covers a winding consisting of several coils (50, 52, 50', 52', 50'', 52''), characterized by the fact that at least two coils (50, 52) are connected in series, whereby the current flows through one coil (50) in the direction of the slot head, and in the other coil (52) in the direction of the slot bottom. The invention also concerns a procedure and a set of structural parts to manufacture a winding for an electric machine.



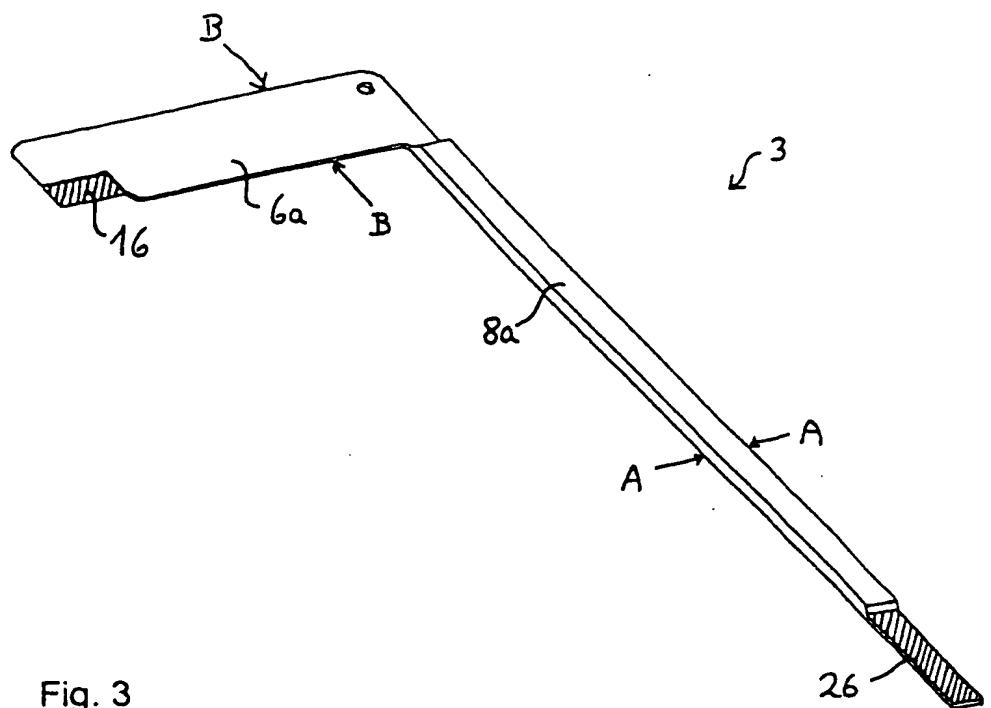


Fig. 3

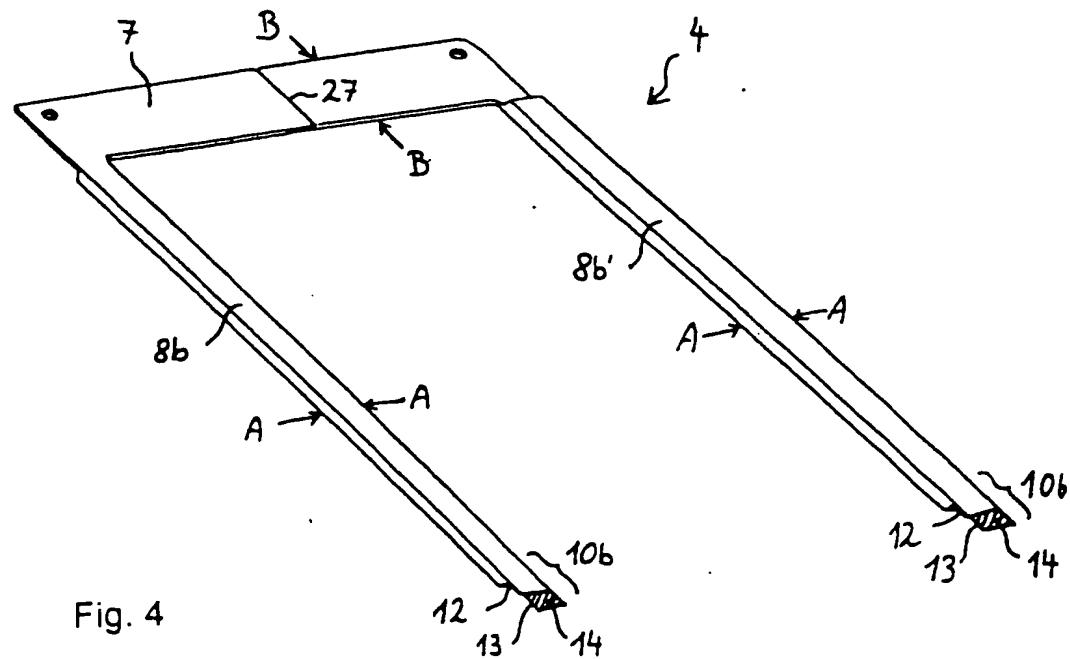
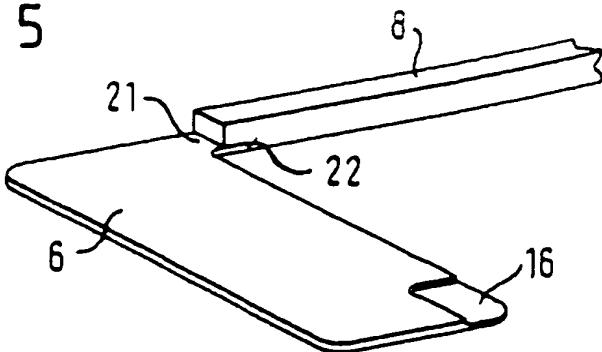


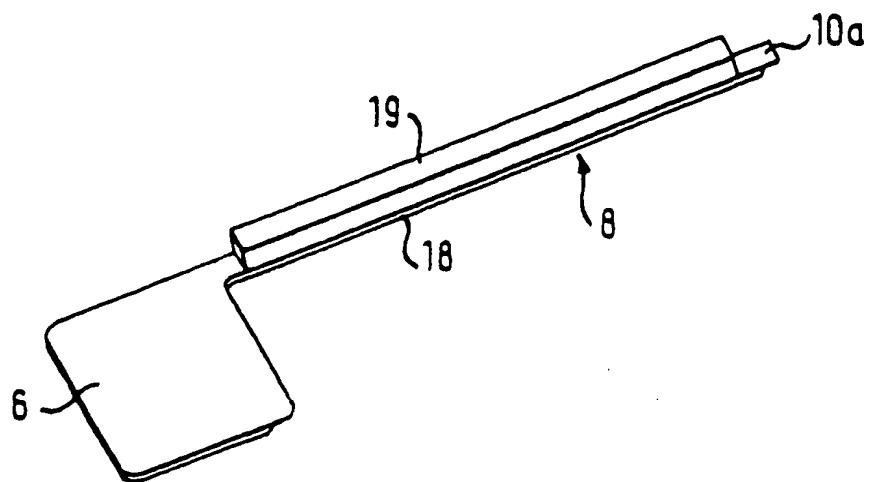
Fig. 4

Fig. 5

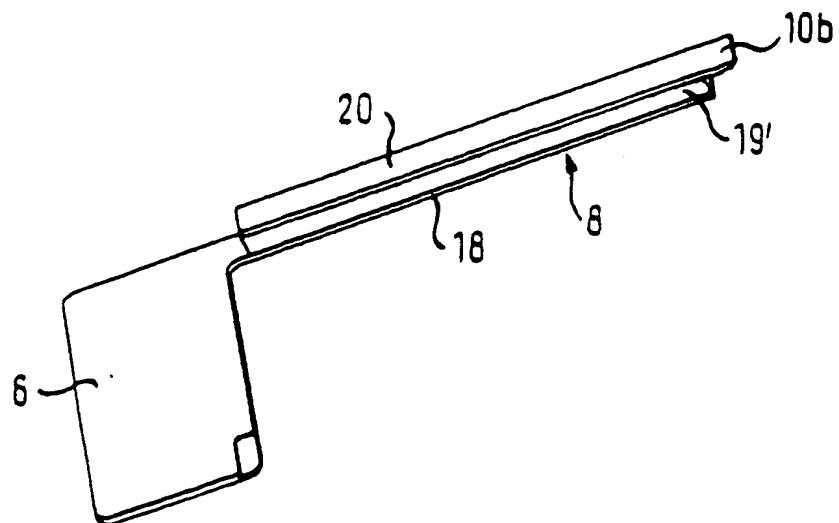
a)



b)



c)



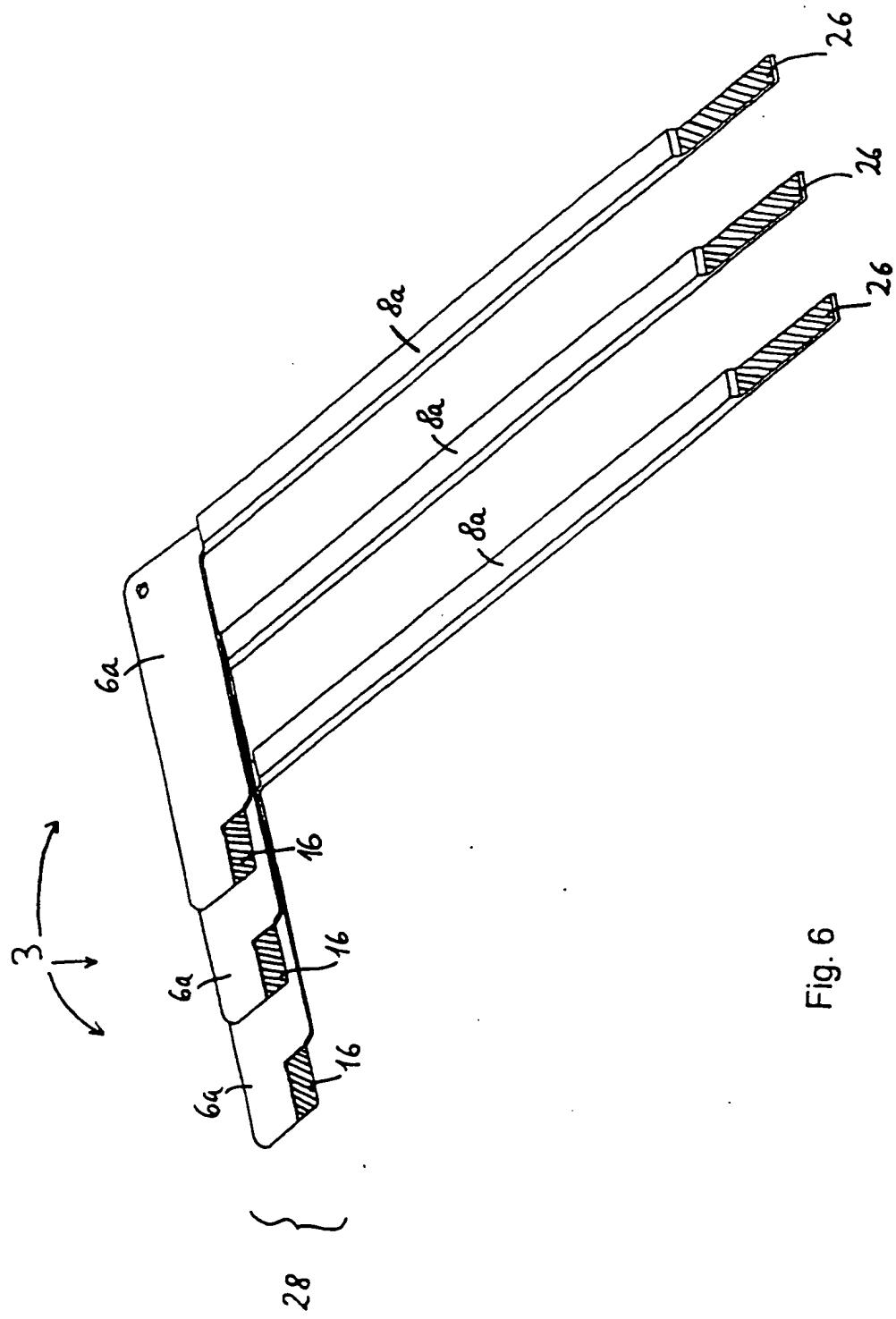


Fig. 6

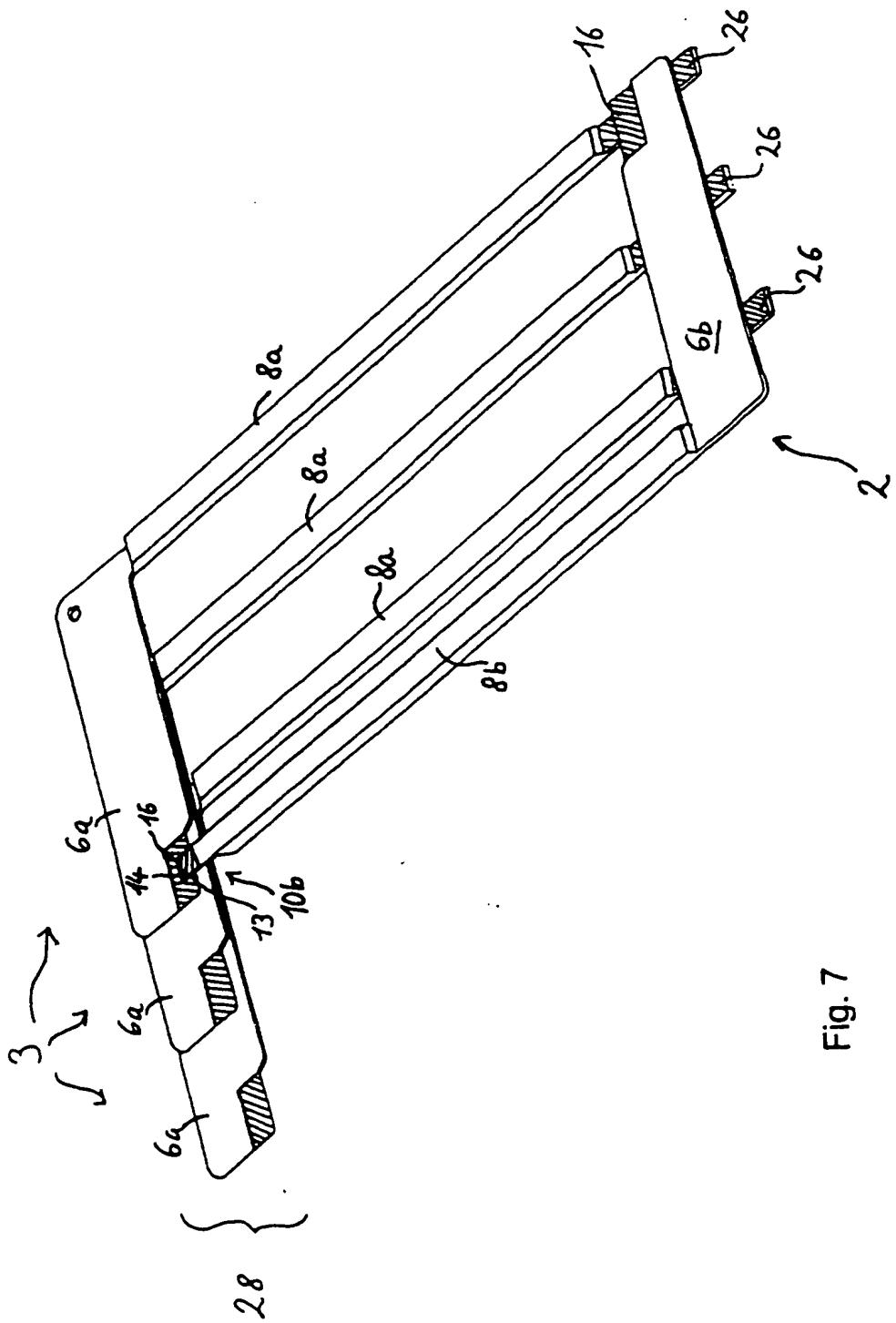


Fig. 7

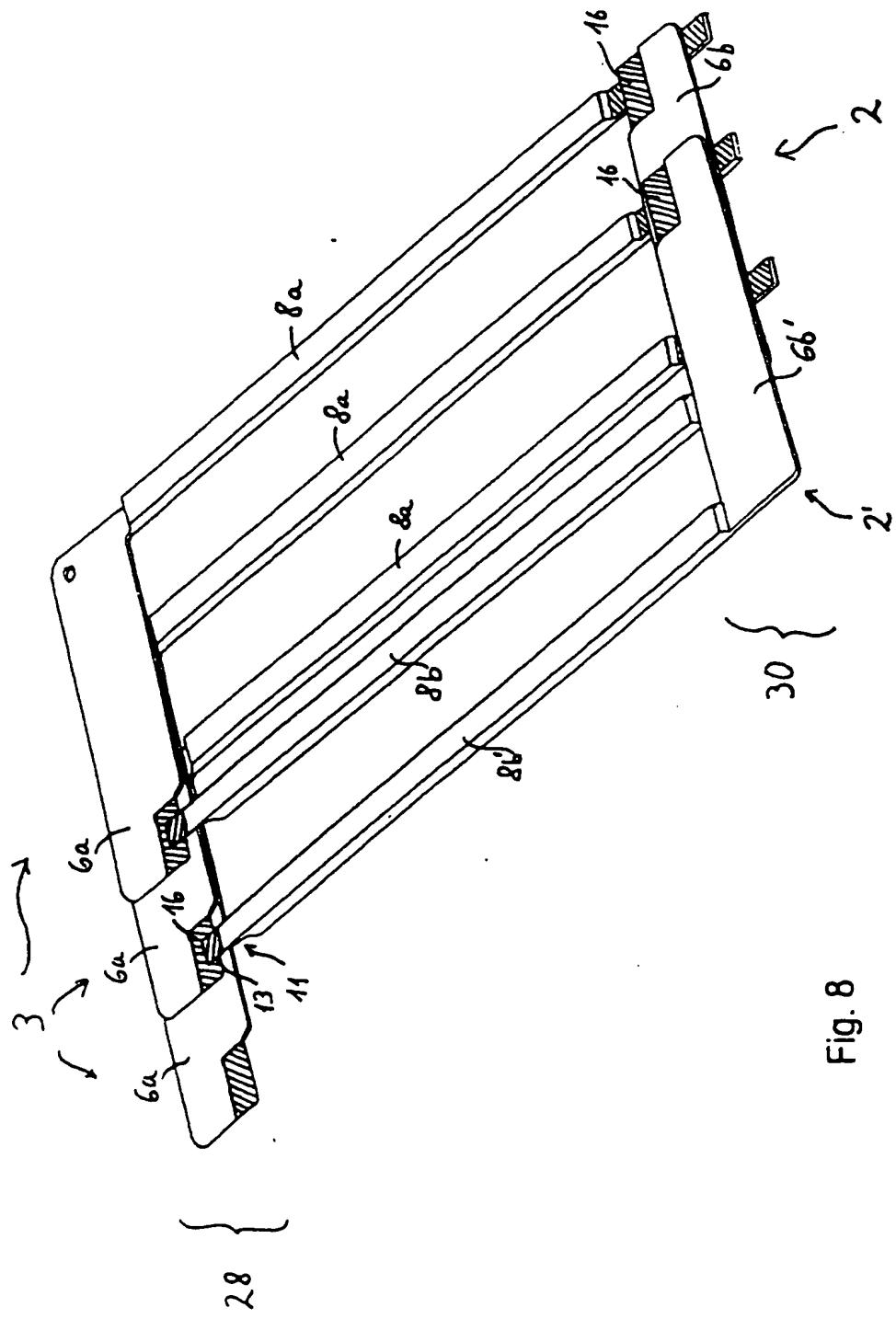
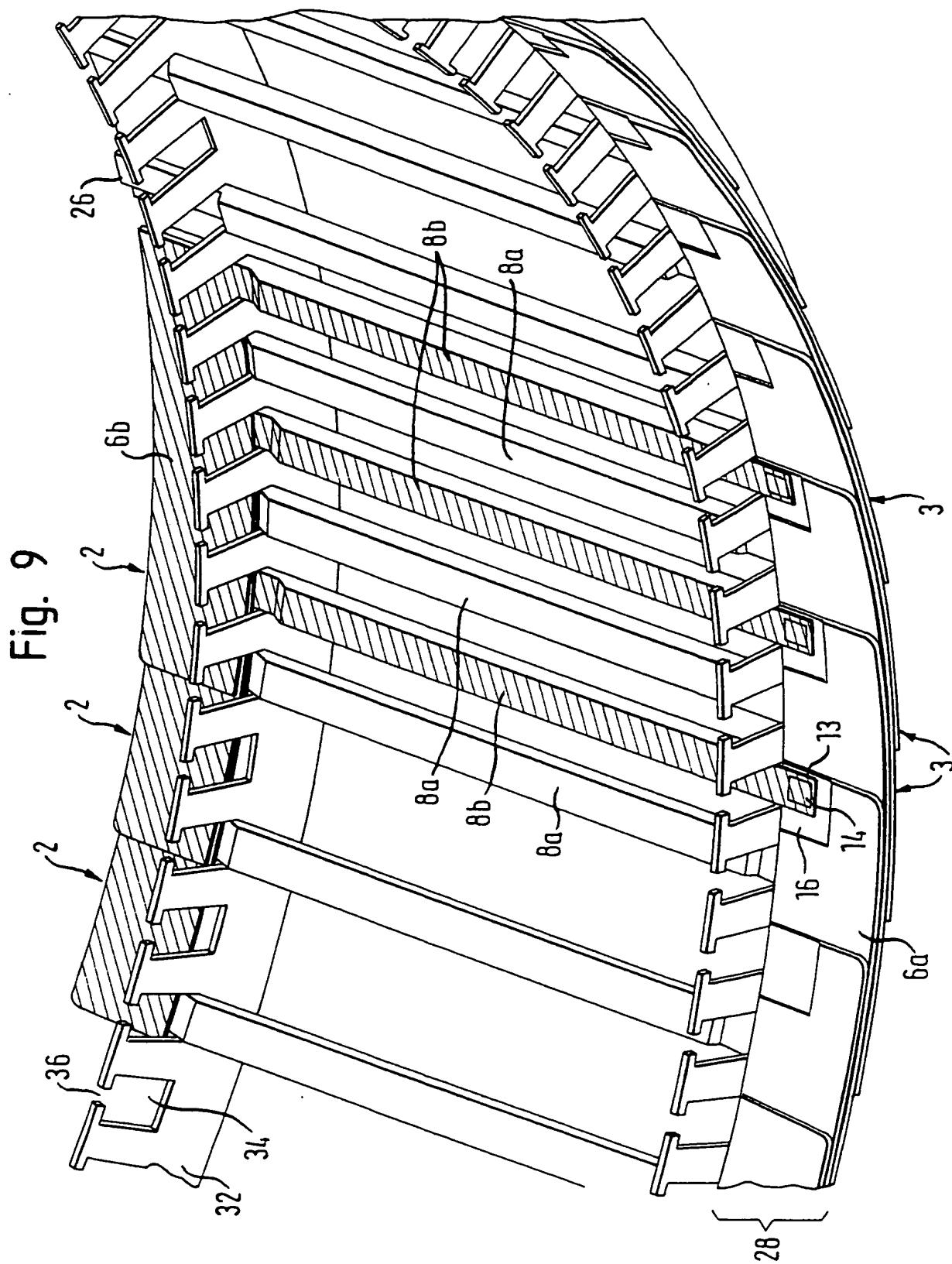


Fig. 8



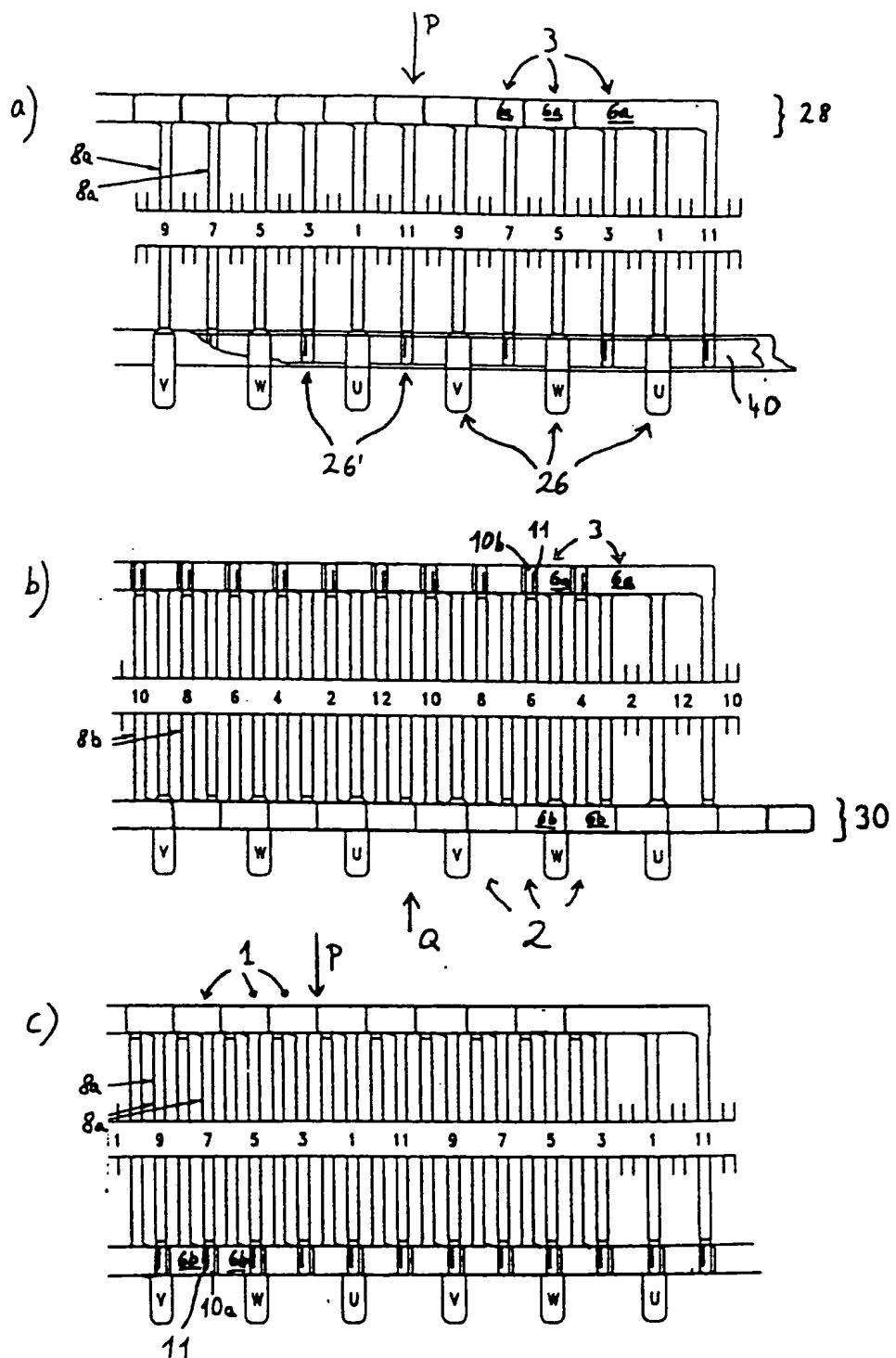


Fig. 10

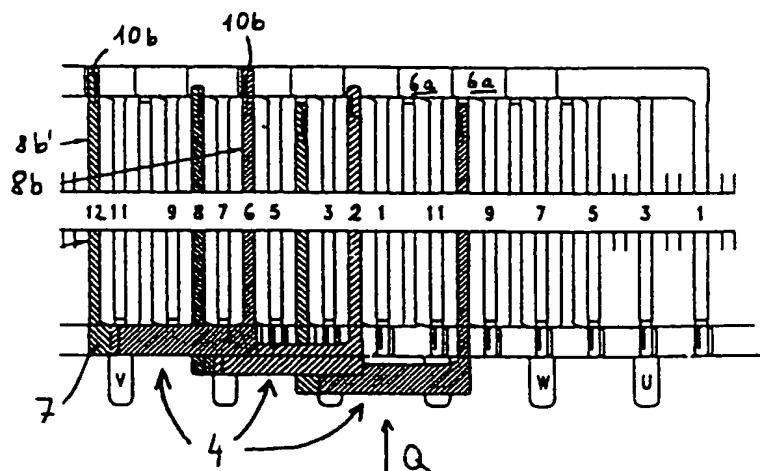


Fig. 11

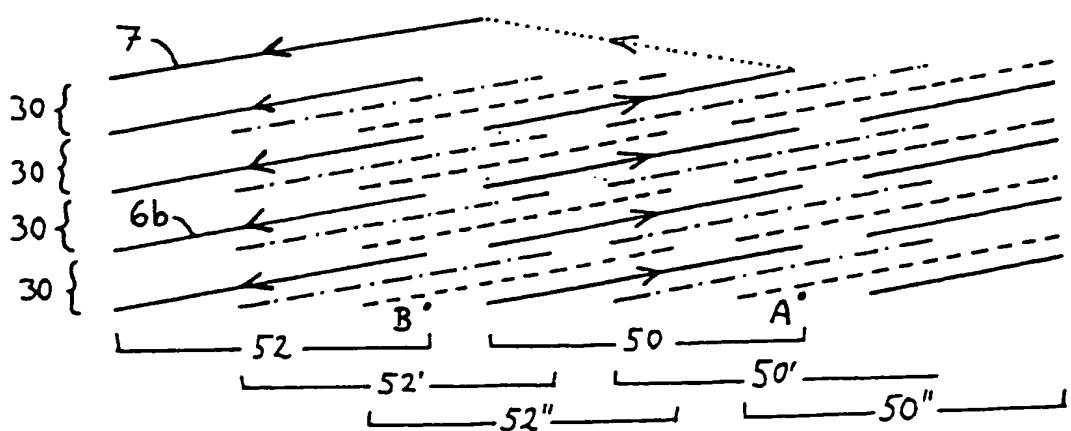


Fig. 12

Fig. 13

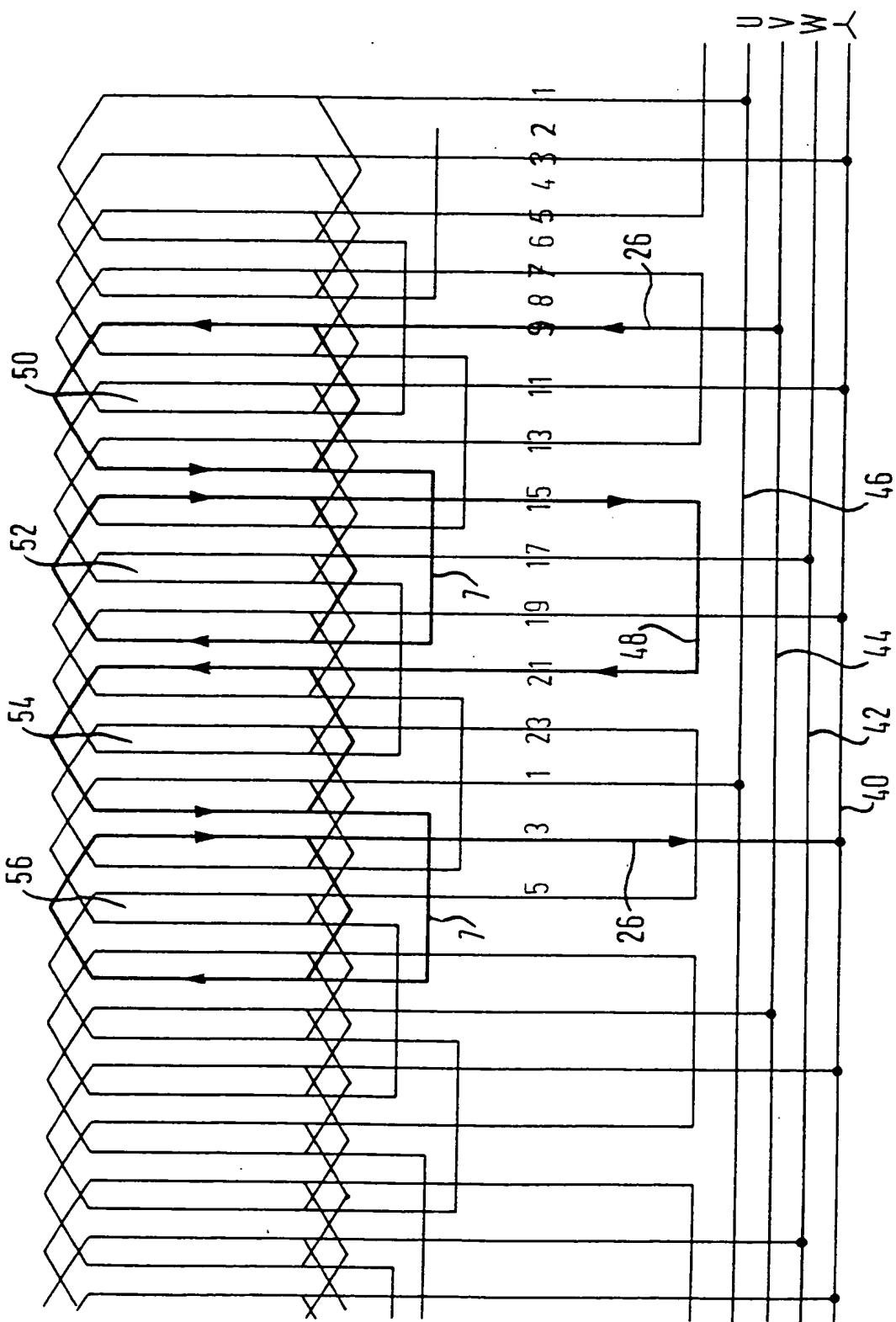


Fig. 14

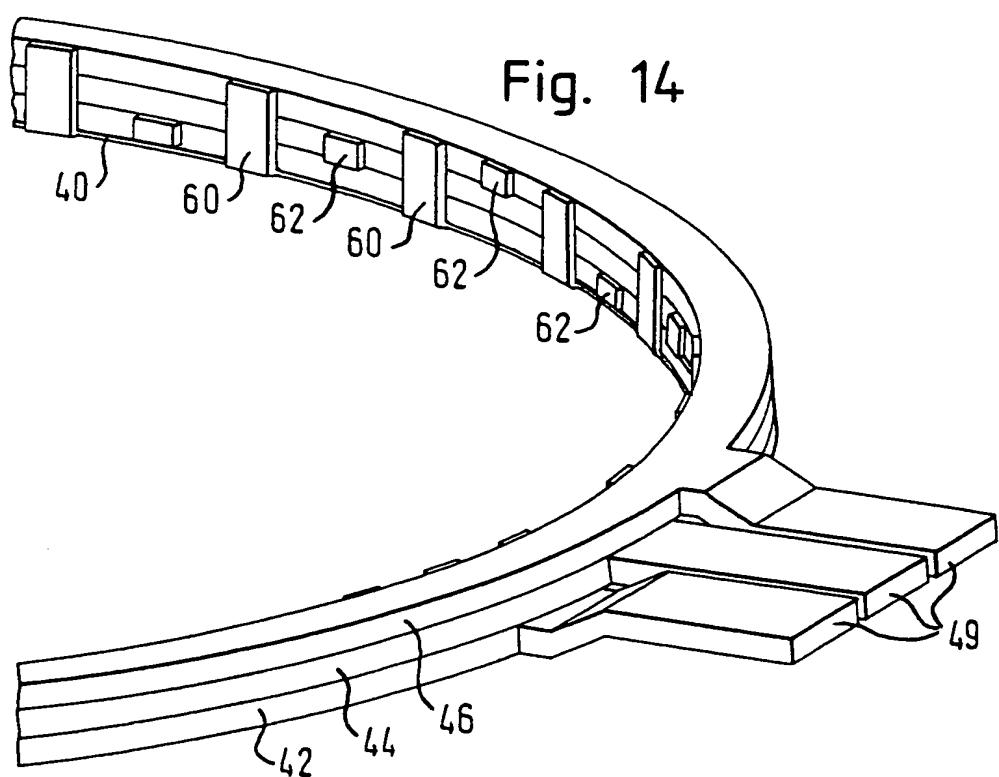


Fig. 15

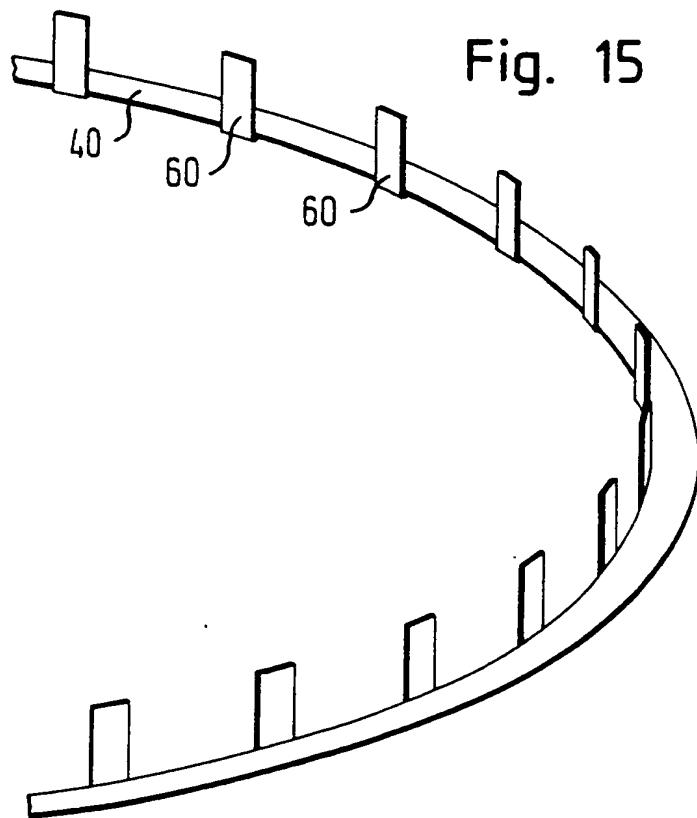


Fig. 16

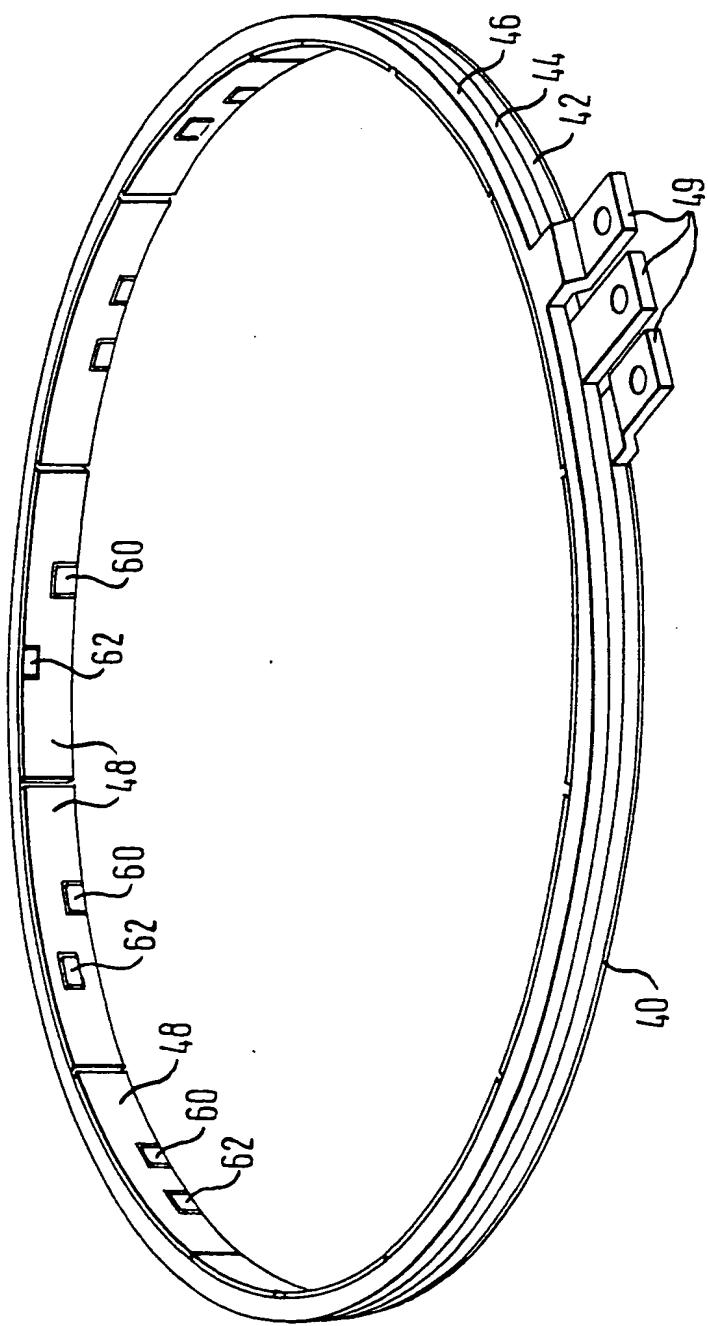


Fig. 17

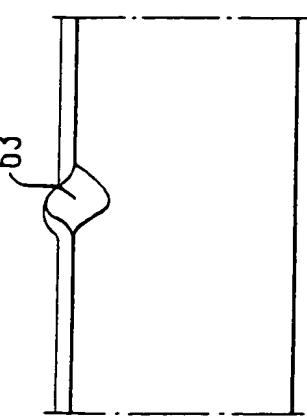


Fig. 18a

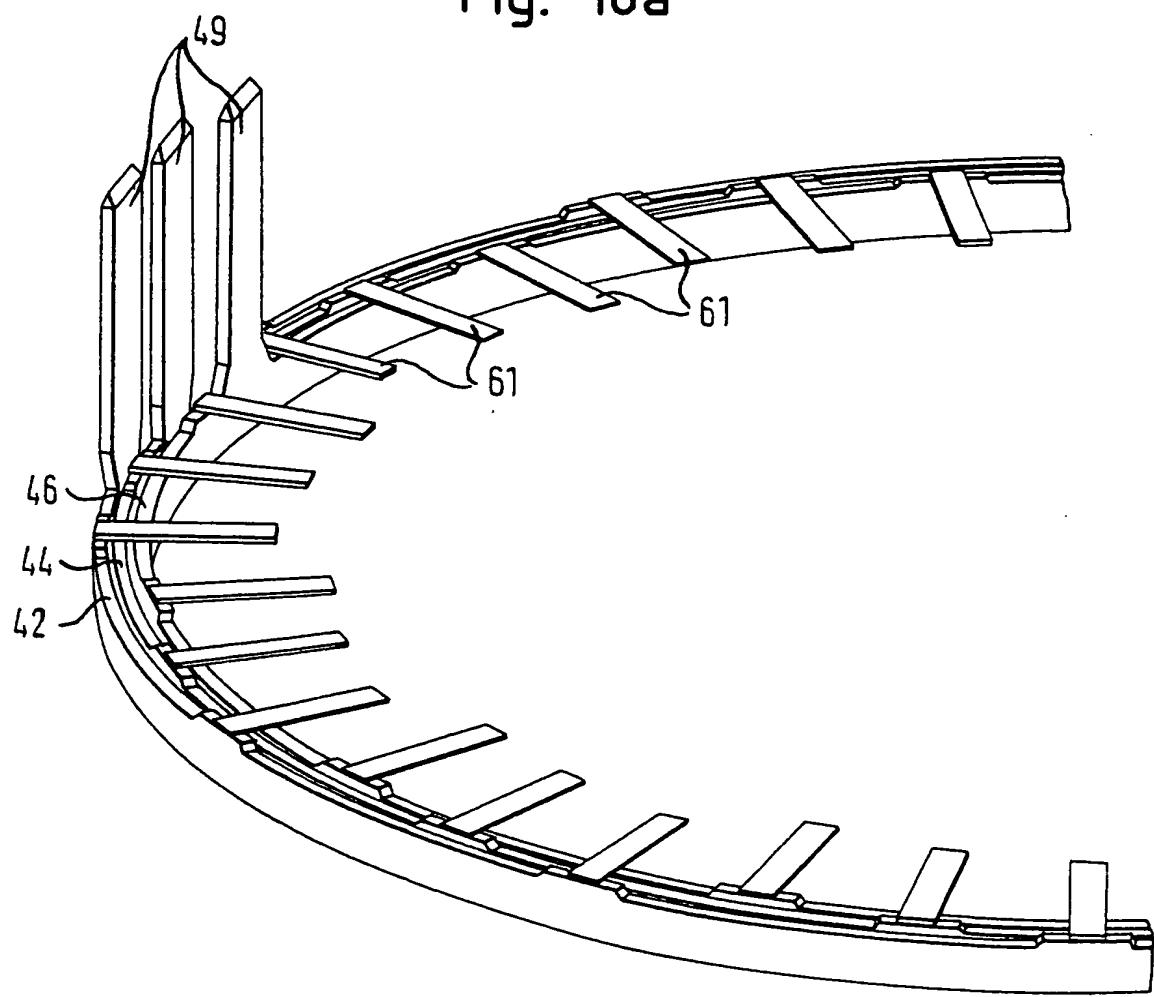


Fig. 18b

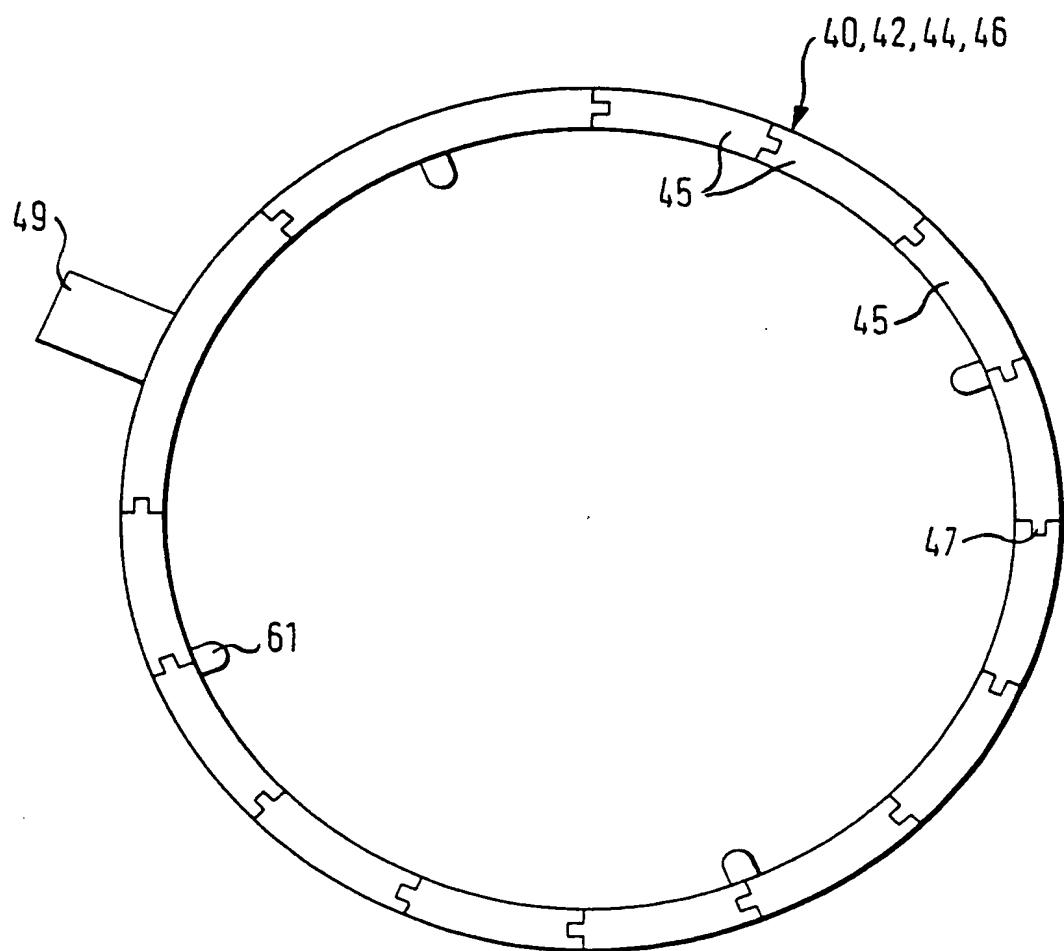


Fig. 19

